

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОХРАНА ТРУДА

Лабораторный практикум

Пособие для студентов всех специальностей

Минск 2012

УДК 331.45(076.5)(075.8)
ББК 65.9(2)248
О-92

Рассмотрено и рекомендовано редакционно-издательским советом университета.

Авторы:

*А. К. Гармаза, В. Н. Босак, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик,
Ю. С. Радченко, Н. А. Сорокин*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой управления охраной труда БГАТУ
В. Г. Андруш;

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии
неорганических веществ и общей химической технологии БГТУ
А. Ф. Минаковский

Охрана труда. Лабораторный практикум : пособие для
О-92 студентов всех специальностей / А. К. Гармаза [и др.]. – Минск :
БГТУ, 2012. – 316 с.

Лабораторный практикум содержит тринадцать лабораторных и три практические работы, посвященные изучению основных опасных и вредных производственных факторов, измерению, нормированию, а также разработке мероприятий по их устранению.

В каждой работе приводятся теоретические сведения об опасных и вредных производственных факторах, описание лабораторных установок и приборов, методика выполнения работ, порядок оформления отчетов, контрольные вопросы и рекомендуемая литература по теме.

УДК 331.45(076.5)(075.8)
ББК 65.9(2)248

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Практикум является руководством для проведения лабораторных работ по курсу «Охрана труда», в него включены 13 работ, а также 3 практических задания, которые подводят итог выполненным измерениям опасных и вредных производственных факторов.

При составлении лабораторного практикума использован опыт преподавания этой дисциплины в Белорусском государственном технологическом университете.

Цель пособия – обучить студентов методам оценки и нормирования опасных и вредных производственных факторов, характерных для химических, деревообрабатывающих, микробиологических, полиграфических производств, предприятий строительных материалов и других отраслей производства.

В описании каждой лабораторной работы приводятся цель исследования, необходимые теоретические сведения по изучаемому фактору, описание лабораторных установок или приборов, методика проведения работы, порядок оформления отчета, в котором в обязательном порядке должны быть выводы и предложения по выполненному исследованию. В конце каждой работы приводятся контрольные вопросы, на которые необходимо ответить студенту для допуска к выполнению исследований. Чтобы более глубоко изучить вопрос, в каждой лабораторной работе приводится список литературных источников.

Согласно учебным планам, на выполнение каждой работы отводится 2 часа. При этом предполагается, что изучение теоретической части проводится студентом во внеурочное время за счет часов, выделяемых на самостоятельную работу по этой дисциплине. Непосредственно в лаборатории студент должен получить допуск к выполнению лабораторной работы путем сдачи коллоквиума или тестовых заданий по изучаемой теме. После короткого инструктажа по правилам безопасности он выполняет экспериментальную часть работы, делает соответствующие выводы по результатам исследований, оформляет отчет о работе и защищает у преподавателя полученные результаты. После успешной защиты студент допускается к подготовке и выполнению следующей лабораторной работы.

Отчет о работе включает в себя: название; цель работы; краткое описание теории вопроса, используемых оборудования и приборов; результаты исследования в виде таблиц, графиков и расчетов; выводы и предложения.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОПОГЛОЩАЮЩИХ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

Цель работы: ознакомиться с воздействием тепловой энергии на организм человека; изучить нормативные материалы и приборы для определения фактических уровней теплового излучения; научиться определять уровни теплового излучения и проводить санитарно-гигиеническую оценку рабочего места, а также оценить эффективность защиты от лучистого тепла с помощью цепной и водяной завес.

Приборы и оборудование: стенд ОТ-5.

1. Общие положения

Температурный режим производственных помещений определяется количеством тепловыделений в цехе или в изолированной его части от тепловыделяющего оборудования, нагретых и раскаленных изделий, отопительных приборов, а также от солнечной радиации, проникающей в цех через открытые и остекленные проемы. Часть поступающего в помещение тепла отдается наружу, а остальное, так называемое «явное» тепло, нагревает воздух рабочих помещений.

В производственных условиях выделение тепла в помещения возможно от стекловаренных, обжиговых и нагревательных печей, вагранок, сушильных установок и других тепловых агрегатов; остывания нагретых изделий и материалов или расплавленных масс; перехода электрической энергии в тепловую; отопительных устройств и т. п.

Как правило, на практике тепловое излучение является интегральным, поскольку нагретые тела одновременно излучают волны различной длины. При температуре выше 500°C спектр излучения содержит как видимые (световые), так и невидимые (инфракрасные) лучи. При более низких температурах этот спектр состоит только из инфракрасных лучей. При температуре 2500–3000°C и выше тела начинают излучать ультрафиолетовые лучи.

Санитарно-гигиеническое значение имеет, в основном, невидимая часть спектра, т. е. инфракрасное излучение.

Видимая часть спектра охватывает волны длиной от 3 до 0,76 мкм, инфракрасная – от 0,77 до 420 мкм.

Инфракрасное излучение – это тепловое излучение, представляющее собой электромагнитные колебания, обладающие как волновыми, так и световыми свойствами. Инфракрасные лучи в зависимости от длины волны делятся на следующие области – коротковолновую ИКИ-А (менее 1,4 мкм), средневолновую ИКИ-В (1,4–3 мкм), длинноволновую ИКИ-С (более 3 мкм). В производственных условиях наибольшее гигиеническое значение имеет диапазон инфракрасного излучения с длинами волн от 0,77 до 70 мкм.

Характер воздействия излучения зависит от длины волны, интенсивности, длительности облучения, размеров излучающей поверхности и облучаемых участков тела человека и т. д. Воздействие инфракрасного излучения на организм человека может быть местным и общим. При местном воздействии инфракрасного излучения особенно в области длинных волн температура кожи человека повышается, ощущаются жжение и боль.

Максимальной проникающей способностью обладают красные лучи видимого спектра и короткие инфракрасные лучи (ИКИ-А) с длиной волны до 1,5 мкм, глубоко проникающие в ткани и мало поглощаемые поверхностью кожи. За счет большой глубины проникновения коротковолновая часть спектра вызывает повышение температуры глуболежащих тканей тела. Например, длительное облучение глаз человека может привести к помутнению хрусталика и развитию профессионального заболевания – *производственной катаракты*. Наибольший нагрев поверхности кожи вызывают лучи с длиной волны около 3 мкм.

Средневолновая (ИКИ-В) и длинноволновая часть (ИКИ-С) спектра излучения в основном поглощается поверхностным двухмиллиметровым слоем кожи (эпидермисом). Наиболее сильно поглощаются лучи с длиной волны 6–10 мкм, часто вызывая «калящий эффект», сопровождающийся сужением кровеносных сосудов.

Зная температуру источника излучения, можно оценить биологические особенности влияния длины волны на организм человека. Длина волны рассчитывается по следующей формуле:

$$\lambda_{\max} = \frac{2880}{T}, \quad (1.1)$$

где λ_{\max} – длина волны максимального излучения источника, мкм; 2880 – постоянная Вина, град · мкм; T – абсолютная его температура, К.

Производственные источники лучистого тепла по температуре поверхности и по характеру излучения можно разделить на 4 группы:

– с температурой поверхности до 500°C (паропроводы, наружные поверхности различных печей, остывающие стекломассы, изделия из стекла, фарфора, керамики, металла и пр.). Их спектр содержит преимущественно длинные инфракрасные лучи ($\lambda = 3,7\text{--}9,3$ мкм);

– с температурой поверхности от 500 до 1200°C (внутренние поверхности печей, сушилок, нагретых заготовок, изделия, пламя, расплавленный металл или стекломасса и пр.). В их спектре содержатся преимущественно длинные инфракрасные лучи, но уже появляются и видимые лучи;

– с температурой 1200–1800°C (расплавленный металл или стекломасса, пламя, разогретые электроды и т. д.). В данном случае спектр содержит как инфракрасные лучи вплоть до наиболее коротких, так и видимые, которые могут достигать высокой яркости;

– с температурой выше 1800°C (дуговые печи, дуги электросварки, факелы плазматронов и т. д.). Спектр излучения характеризуется наличием инфракрасных, видимых и ультрафиолетовых лучей.

Организм человека с увеличением времени облучения способен приспосабливаться, т. е. происходит адаптация, которая может сохраняться довольно длительное время.

Передача теплоты от более нагретых тел к менее нагретым осуществляется тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением (лучеиспусканием).

Теплопроводность – это перенос энергии (тепла) от одной частицы к другой вследствие их беспорядочного движения и непосредственного соприкосновения друг с другом (колебание атомов в кристаллической решетке твердых тел, диффузия свободных электронов в металлах).

Конвекция – перенос энергии (тепла) микрочастицами вследствие их движения в среде газа или жидкости. В результате смешивания веществ температура среды повышается.

Тепловое излучение (лучеиспускание) – процесс распространения электромагнитных колебаний, обусловленных тепловым движением атомов или молекул излучающего тела. Иными словами, лучеиспускание – это превращение тепла во время передачи в другую форму энергии (излучение). Все тела способны излучать энергию, которая впоследствии поглощается другими телами и снова превращается в тепло. В результате выделения тепловой энергии в производственном процессе температура воздуха в рабочей зоне может возрастать и зачастую превышать допустимые пределы.

Исследования показывают, что не менее 60% всей теряемой теплоты распространяется в окружающей среде путем излучения. Лучи-

стая же энергия, проходя почти без потерь пространство, отделяющее одно тело от другого, снова превращается в тепловую энергию поверхностных слоев облучаемого тела. Следует отметить, что тепловое излучение не оказывает непосредственного воздействия на сухой окружающий воздух, свободно пронизывая его. Оно нагревает только те тела, на которые падает, и поглощается ими.

Лучистая энергия, попадая на человека, воздействует прежде всего на незащищенные части тела (лицо, руки, шею, грудь). Причем если конвективная теплота влияет главным образом на внешние кожные покровы, то лучистая – может проникать на некоторую глубину в ткани.

При длительном пребывании человека в зоне теплового лучистого потока, как и при систематическом воздействии высокой температуры, происходит резкое нарушение теплового баланса в организме. Изменяется работа терморегулирующего аппарата, повышается деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, усиливается потоотделение, происходят потери нужных организму солей. Обезвоживание организма вызывает сгущение крови, ухудшается питание тканей и органов. Потеря солей лишает кровь способности удерживать воду, что приводит к быстрому выведению из организма вновь выпитой жидкости.

Терморегуляция – это совокупность физиологических и химических процессов в организме человека, направленных на поддержание температуры тела в пределах 36–37°C. Различают химическую и физическую терморегуляцию. *Химическая терморегуляция* достигается снижением уровня обмена веществ при угрозе перегревания организма или его усилением при охлаждении. *Физическая терморегуляция* регулирует отдачу тепла в окружающую среду.

В нормальных условиях деятельности в зависимости от тяжести труда человек выделяет из организма определенное количество тепла – до $6,28 \cdot 10^5$ Дж, в том числе тепловым излучением – 40–47%, конвекцией – 28–35%, с выделением влаги – 13–27%. Около 5% тепла расходуется на согревание принимаемой пищи, воды и вдыхаемого воздуха. При внешней температуре, соответствующей физиологической норме, вышеприведенное процентное отношение выделения тепла организмом человека не меняется. Однако по мере роста температуры окружающей среды количество тепла, выделяемого тепловым излучением и конвекцией, уменьшается. При равенстве температур окружающей среды и тела человека отдача тепла организмом резко возрастает за счет потовыделения. Если же воздух будет иметь высокую влажность, то тепла из организма будет выделяться меньше физиологических потребностей, что приводит к перегреву тела человека.

Небольшой перегрев характеризуется легким повышением температуры тела, обильным потоотделением, жаждой, небольшим учащением дыхания и пульса. Более значительные перегревы вызывают появление одышки, головной боли, головокружения, затруднения речи и т. д. Описанная форма нарушения терморегуляции организма с преобладанием резкого повышения температуры тела называется **тепловой гипертермией**.

Обильное потоотделение приводит к потере организмом значительного количества солей, нарушая водно-солевой баланс. Такая форма перегрева получила название **судорожной болезни**. Она характеризуется большой потерей пота, сильным сгущением крови, повышением температуры, учащением пульса и т. д. Протекает в форме судорог в различных мышцах. В дальнейшем может наступить тепловой удар, который вызывает потерю сознания, повышение температуры тела до 40–41°C, слабый или учащенный пульс. Характерным признаком теплового поражения является почти полное прекращение потоотделения. Тепловой удар и судорожная болезнь могут заканчиваться смертельным исходом.

При длительном воздействии лучистой энергии на открытые участки кожи человека возникают **ожоги**. По тяжести поражения ожоги условно делятся на 4 степени: первая степень – краснота, припухлость кожи, болезненность; вторая степень – появление пузырьков; третья степень – глубокое повреждение, вызывающее омертвление участков тканей; четвертая степень – поражение всей толщи кожи, а также глуболежащих тканей и органов.

При систематических перегревах отмечается повышенная восприимчивость к простудным заболеваниям. Таким образом, тепловое излучение воздействует на организм человека, нарушая его нормальную деятельность, вызывая серьезные осложнения. Поэтому меры борьбы с лучистым теплом имеют большое значение для улучшения условий труда.

В соответствии с СанПиН № 9-80 РБ 98, допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.), должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.1.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должны превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является

использование средств индивидуальной защиты, а том числе средств защиты лица и глаз.

При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочих местах не должна превышать вне зависимости от категории работ следующих величин:

- 25°C – при категории работ Ia;
- 24°C – при категории работ IIб;
- 22°C – при категории работ IIа;
- 21°C – при категории работ IIб;
- 20°C – при категории работ III.

Таблица 1.1

**Допустимые величины интенсивности теплового облучения
поверхности тела работающих от производственных источников**

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25–50	70
не более 25	100

Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе работы исполнитель, не должна превышать 45°C.

При невозможности обеспечения допустимых нормативных показателей микроклимата по производственным причинам в помещениях должна быть предусмотрена защита работающих от перегрева.

Основными методами создания благоприятного микроклимата являются: рациональное размещение и теплоизоляция оборудования и коммуникаций, выделяющих тепло; дистанционное управление процессами и аппаратами, выделяющими большое количество конвективного и лучистого тепла; устройство защитных экранов, воздушно-го или водно-воздушного экранов; вентиляция; использование спецодежды, спецобуви и индивидуальных средств защиты; снабжение источников интенсивного влаговыделения крышками, местными отсосами; устройство комнат кратковременного отдыха; механизация и автоматизация трудоемких процессов; организация рационального водно-солевого режима; оборудование входов в цех тамбурами, тепловыми и воздушными завесами.

Основной способ борьбы с лучистым теплом на рабочих местах заключается в изоляции излучающих поверхностей, т. е. создании определенного термического сопротивления на пути теплового потока в

виде экранов различных конструкций (жестких глухих, сетчатых полупрозрачных, водяных, водно-воздушных и др.). Действие защитных экранов заключается либо в отражении лучистой энергии обратно к источнику излучения, либо в ее поглощении.

Различают отражающие и поглощающие экраны.

К *отражающим экранам* относятся жесткие глухие преграды (они отражают до 95% длинноволнового излучения). При непрерывном смачивании экранов водой можно достичь практически полной задержки лучистого тепла.

К *поглощающим экранам* относятся различные завесы (цепные, водяные), щиты и экраны из материалов, имеющих низкий коэффициент теплопроводности (шлаковая вата, асбест и др.).

Цепные экраны (изготавливаются в виде плотной сетки с подвижными петлями или из обыкновенных мелких цепей) снижают лучистый поток на 60–70%, при этом сохраняется возможность наблюдения за ходом технологического процесса.

Хорошо зарекомендовали себя прозрачные водяные завесы в виде сплошной тонкой пленки, образующейся при равномерном стекании воды с гладкой поверхности. Наиболее сильное поглощение тепловых лучей наблюдается в зоне длинных волн ($1,5 \pm 6,0$) мкм. Слой воды толщиной 0,001 м полностью поглощает часть спектра с длиной волны 3 мкм, а слой воды 0,01 м поглощает поток радиации с длиной волны 1,5 мкм. При этом коротковолновое излучение источника теплового излучения практически не поглощается. Поэтому пленочные завесы эффективны в основном для экранирования излучения низкотемпературных источников.

Водяные завесы поглощают до 80% потока тепла без существенного ухудшения видимости, т. е. являются прозрачными для световых лучей. Оценка эффективности поглощающего экрана может быть охарактеризована отношением

$$\gamma = \frac{E_0 - E}{E_0}, \quad (1.2)$$

где E , E_0 – соответственно энергия лучистого потока в данной точке при наличии и отсутствии экрана, Вт/м².

Уравнение поглощения лучистой энергии водяной завесой имеет вид

$$E = E_0 \cdot e^{-\delta R}, \quad (1.3)$$

где e – основание натурального логарифма; δ – опытный коэффициент ослабления потока мутной средой; R – толщина завесы, мм.

В работе принять: $\delta = 1,3$ 1/мм; $R = 1,1$ мм; $e^{-\delta R} = 0,293$.

Потери тепла лучеиспусканием с 1 см^2 раскаленной поверхности можно рассчитать по формулам

$$E_0 = \frac{2,3 \cdot 10^{-3} \cdot F \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{L^2}, \text{ при } L \geq \sqrt{F}, \quad (1.4)$$

$$E_0 = \frac{2,3 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{F} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{L}, \text{ при } L < \sqrt{F}, \quad (1.5)$$

где F – площадь излучающей поверхности, м^2 ; T_1, T_2 – соответственно температуры излучающей поверхности и поверхности, воспринимающей тепло, К; L – расстояние от источника излучения, м.

В работе для расчетов принять $F = 0,79 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$. При постоянной температуре излучателя разность отношений $\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4$ в условиях эксперимента можно принять равной 9900.

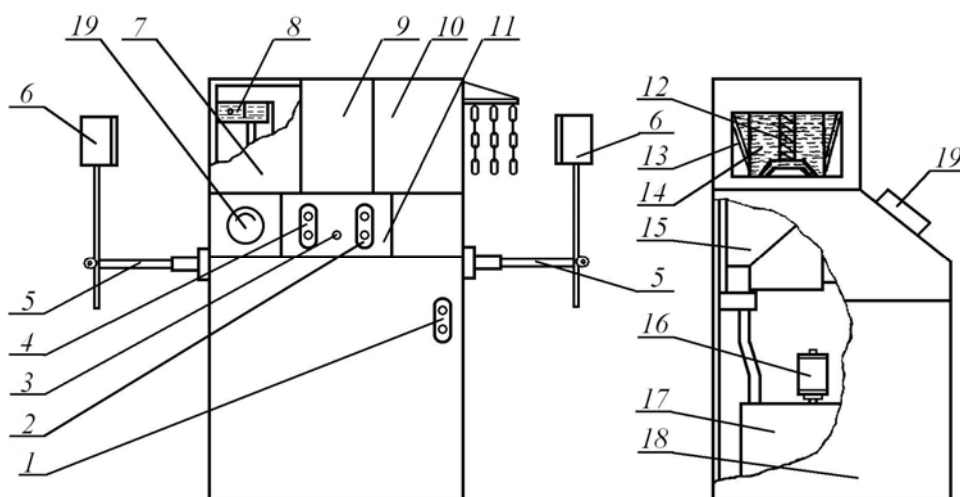
2. Экспериментальная часть

2.1. Оборудование и приборы

Работа выполняется на установке для определения поглощения лучистой энергии цепной и водяной завесами типа ОТ-5 (см. рисунок). Установка состоит из следующих основных узлов: секции лучистой энергии 9, блока водяной завесы 7, секции цепной завесы 10, центробежного насоса 16, корпуса 18, панели управления 11.

Источником лучистой энергии служит нагревательный прибор, выполненный в виде спирали накаливания 12.

Устройство водяной завесы состоит из ванночки 8, в которую из бака 17 нагнетается вода. Слив воды из ванночки (для образования завесы) 14 происходит по направляющим 13 в сливной короб 15, по которому она снова попадает в бак 17. Конструкция обеспечивает регулирование положения ванночки в горизонтальной плоскости, что позволяет получить водяную завесу равномерной толщины по всей ширине. Толщина поглощающей поверхности водяной завесы регулируется двумя кранами, установленными на нагревательной и сливной магистралях.



Внешний вид установки для определения поглощения лучистой энергии цепной и водяной завесами типа ОТ-5:

- 1 – автоматический выключатель общего питания установки;
- 2, 4 – выключатели нагревательного устройства и гидроагрегата;
- 3 – сигнальная лампочка; 5 – штанга; 6 – штатив актиометра;
- 7 – блок водяной завесы; 8 – ванночка водослива;
- 9 – секция лучистой энергии; 10 – секция цепной завесы;
- 11 – панель управления; 12 – спираль накаливания;
- 13 – направляющие стержни водяной завесы; 14 – водяная завеса;
- 15 – сливной короб; 16 – центробежный насос; 17 – бак;
- 18 – корпус установки; 19 – стрелочный гальванометр

Конструкция цепной завесы состоит из двух или трех рядов висящих металлических цепей: в каждом ряду по 10 цепей, находящихся на поворотных кронштейнах, которые дают возможность устанавливать на пути излучения один, два или три ряда цепей.

Гидроагрегат – узел, состоящий из бака 17 и центробежного насоса 16 с приводом. На нагревательной магистрали установлен кран, которым можно регулировать производительность насоса. Управление насосом осуществляется с помощью пульта управления.

Корпус установки 18 состоит из каркаса сварной конструкции и штанг 5 для штативов актиометров 6. В зависимости от необходимости вылет штанг для штатива может меняться. Для удобства определения расстояния между источником лучистой энергии и актиометром штанги обеспечены градуированными линейками.

Включение насоса производится при помощи кнопки 4 «Пуск», а отключение – кнопкой 4 «Стоп». С правой стороны на панели установлена сигнальная лампочка 3. Включение и отключение спирали накаливания производится кнопками 2.

Измерение теплового излучения производится актинометром М-3 (АТ-50). Температура раскаленной спирали определяется оптическим пирометром.

Принцип его действия основан на поглощении теплового излучения термобатарей и превращении тепловой энергии в термоток, сила которого пропорциональна интенсивности радиации.

Приемником радиации служит диск из серебряной фольги, зачерненной со стороны источника излучения. К другой стороне диска приклеены внутренние («горячие») спаи термобатареи, включающие 36 термоэлементов, соединенных последовательно в виде звездочки, состоящей из магнита и константана.

Внешние («холодные») спаи термобатареи подклеены к кольцу, зажатому между корпусом актинометра.

Измерение термотока осуществляется соединенным с актинометром стрелочным гальванометром (19) типа ГСА-1М.

Для проведения работы необходимо снять крышки актинометра и гальванометра. Актинометр направить на источник теплового излучения, для чего ослабить винт, фиксирующий положение трубки актинометра, и установить ее в горизонтальное положение, закрепив винт. Через 25 с зафиксировать показание с точностью до 0,1 деления.

После окончания серии отсчетов актинометр закрывают крышкой. Полученные результаты переводят в абсолютное значение интенсивности радиации (Вт/м^2) умножением на переводной множитель пары актинометр – гальванометр, равный $8,870$ ($1 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин} = 698 \text{ Вт/м}^2$).

2.2. Порядок выполнения работы

1. Включить питание установки. Для этого поставить автоматический выключатель 1 в положение «Пуск». Включение питания сигнализируется лампочкой 3, расположенной на панели управления.

2. Включить питание насоса водяной завесы. Включение насоса производится кнопкой 4 «Пуск», а его отключение – кнопкой 4 «Стоп».

3. Включить питание спирали накаливания. Включение спирали накаливания производится кнопкой 2 «Пуск», а ее отключение – кнопкой 2 «Стоп». Нагревательный элемент включать только при работающем насосе. Замер интенсивности излучения проводить через 5 мин после включения нагревателя.

4. Определить температуру раскаленной спирали оптическим пирометром.

5. Измерить актинометром интенсивность излучения без защиты на разных расстояниях от источника. Установка актинометра на разных расстояниях от источника производится выдвижением штанг 5.

6. Установить один ряд цепей цепной завесы и измерить интенсивность теплового излучения. Прodelать аналогичные измерения с двумя и тремя рядами цепей.

7. Замерить интенсивность излучения на разных расстояниях от источника излучения при наличии водяной завесы.

8. Отключить питание нагревательного элемента кнопкой 2 «Стоп».

9. Отключить питание насоса водяной завесы кнопкой 4 «Стоп» через 3–5 мин после отключения питания нагревательного элемента.

10. Отключить питание установки. Для этого поставить выключатель 1 в положение «Стоп».

11. Результаты измерений интенсивности теплового излучения записать в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Зависимость интенсивности теплового излучения от расстояния до нагревателя

Условия измерения	Интенсивность теплового излучения, Вт/м ² , при расстояниях до источника излучения, м				
	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
При отсутствии защитных экранов (только со стороны цепной завесы)					
При наличии одного ряда цепей					
При наличии двух рядов цепей					
При наличии трех рядов цепей					
При включенной водяной завесе					

12. Используя формулы (1.2)–(1.5), рассчитать интенсивность теплового излучения при расстояниях от источника, соответствующих опытным. Результаты расчетов записать в табл. 1.3.

13. Построить графическую зависимость интенсивности теплового излучения от расстояния до источника излучения.

14. Сделать вывод об эффективности защитных экранов: а) сравнить эффективность различных экранов, используя формулу (1.2); б) сравнить результаты измерений интенсивности теплового излучения при наличии и отсутствии защитных экранов в соответствии с санитарными нормами; в) определить длину волны с максимальной энергией по формуле (1.1).

**Зависимость расчетной интенсивности теплового излучения
от расстояния до нагревателя**

Условия для расчета	Расчетная интенсивность теплового излучения, Вт/м ² , при расстояниях до источника излучения, м				
	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
При отсутствии защитных экранов					
При включенной водяной завесе					

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте спектр излучения нагретых поверхностей в зависимости от их температуры.
2. Каким образом происходит передача тепла нагретыми поверхностями?
3. Что такое тепловое излучение и как оно воздействует на организм человека?
4. Что такое терморегуляция организма человека? Ее виды.
5. Расскажите о характере действия температуры на организм человека.
6. Что такое гипертермия и судорожная болезнь? Их симптомы.
7. Как подразделяются ожоги по степени тяжести? Их характеристика.
8. Каким документом нормируется интенсивность теплового излучения и в зависимости от каких факторов?
9. Какие требования к интенсивности теплового излучения на рабочих местах предъявляются нормативным документом?
10. Охарактеризуйте методы обеспечения благоприятного микроклимата в производственных помещениях.
11. Дайте характеристику отражающих и поглощающих экранов.
12. Как производится оценка эффективности поглощающих экранов?
13. Как можно определить отдачу тепла лучеиспускателем?

ЛИТЕРАТУРА

1. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: СанПиН № 9-80 РБ 98. – Введ. 01.07.98. – Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 1998. – 12 с.
2. Челноков, А. А. Охрана труда: учебник / А. А. Челноков, И. Н. Жмыхов, В. Н. Цап; под общ. ред. А. А. Челнокова. – Минск: Выш. шк., 2011. – 671 с.

Лабораторная работа № 2

НОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО И ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

Цель работы: ознакомиться с общими характеристиками естественного и искусственного освещения, нормируемыми показателями освещения, приборами, используемыми для оценки освещенности; научиться определять эффективность освещенности рабочих мест, оценивать пригодность помещения для выполнения работ заданной точности.

Приборы и оборудование: люксметр Ю-116.

1. Общие положения

Свет обеспечивает связь организма с внешней средой, обладает высоким биологическим и тонизирующим действием.

Одним из важнейших элементов, благоприятных для условий труда, является рациональное освещение помещений и рабочих мест.

Правильно спроектированное и выполненное освещение производственного помещения улучшает условия зрительной работы, снижает утомление, способствует повышению производительности труда и качества выпускаемой продукции, благоприятно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм на производстве.

Лучистая энергия солнца оказывает непосредственное влияние и на организм человека. Воспринимаемые глазом видимые солнечные лучи влияют на состояние центральной нервной системы, повышая активность больших полушарий. Свет улучшает общее состояние человека, повышает жизненный тонус. Действуя рефлекторно через нервные окончания в коже (рецепторы), свет оказывает воздействие на осуществление фотохимических процессов в организме, ритм жизненного тонуса, функцию сердечно-сосудистой системы и т. д.

Свет является активным регулятором основных биологических процессов. Он постоянно влияет на такие жизненно важные функции, как обмен веществ, рост и развитие организма, повышает иммунитет человека.

Рациональное освещение производственных и вспомогательных помещений, проходов и проездов имеет большое значение для нормальной и безопасной работы промышленного предприятия. Для безопасности работы нужно не только достаточное освещение рабочих поверхностей, но и рациональное направление света, отсутствие резких теней и бликов, обычно вызывающих слепящее действие и снижающих работоспособность.

Способность глаз приспосабливаться к различной яркости света называется **адаптацией**. Частая переадаптация глаз снижает производительность труда и способствует увеличению травматизма. Адаптация устраняется, если в производственном помещении создается равномерное освещение.

Недостаточное освещение само по себе не вызывает несчастных случаев, но может способствовать их возникновению. Например, недостаточное или неправильное освещение вынуждает рабочего ближе наклоняться к обрабатываемому предмету, что увеличивает опасность повреждения лица и глаз. Недостаточная освещенность, резкие тени, наличие в поле зрения рабочего источника света большой яркости мешают различать движущиеся части станков, агрегатов и способствуют возникновению травматизма.

В пожароопасных и взрывоопасных помещениях, помимо рационального освещения, требуется еще герметическая или взрывобезопасная арматура осветительных приборов.

Прямое влияние на безопасность труда оказывает аварийное освещение, обеспечивающее безопасную работу или спокойный выход рабочих из помещения в случае прекращения подачи электроэнергии, а также местное освещение контрольно-измерительных приборов, световые сигналы, установленные на машинах и механизмах, автоматических производственных линиях и др.

Освещение может создаваться как лучистой энергией, исходящей от тел, так и при помощи люминесценции.

Электромагнитное излучение с длиной волны в пределах $\lambda = 380\text{--}770$ нм, воздействуя на глаза человека, вызывает ощущение света. Эта часть спектра называется *областью видимых излучений*, а соответствующая ей часть лучистой энергии – *световой энергией*. Следует подчеркнуть, что световая энергия определяется именно вызываемым ею зрительным ощущением.

Каждому излучению с определенной длиной волны соответствует определенный цвет. Как показали исследования, при одинако-

вой интенсивности различных монохроматических излучений наибольшее зрительное восприятие создают желто-зеленые лучи с длиной волны 555 нм. Если принять за единицу чувствительность глаз к лучам с длиной волны 555 нм, то зависимость зрительного восприятия от волн разной длины можно представить кривой, приведенной на рис. 2.1.

Излучение с длиной волны 10–380 нм является *ультрафиолетовым*, а с длиной волны 770–340 000 нм – *инфракрасным*.

Для гигиенической оценки освещенности используются светотехнические качественные и количественные показатели.

К *количественным показателям* относятся световой поток, освещенность, коэффициент отражения, сила света и яркость. К *качественным показателям* следует отнести фон, видимость, контраст.

Видимая лучистая энергия оценивается по световому ощущению и называется световым потоком, который измеряется в люменах (лм).

Световой поток F – мощность лучистой энергии, оцениваемая световым ощущением человеческого глаза. Световой поток определяется как величина не только физическая, но и физиологическая, так как измерение ее основано на зрительном восприятии. Точное значение светового потока в лм определяется по эталонным электрическим лампам накаливания, выверенным в соответствии с международным соглашением. Таким образом, единица светового потока – *люмен* – принята совершенно условно. Между условной единицей светового потока – люменом и энергетической – ваттом имеется следующее соотношение: 1 лм = 0,001 61 Вт. Все источники света, в том числе осветительные приборы, излучают световой поток в пространство неравномерно. Распределение светового потока в пространстве учитывают, пользуясь понятием пространственной плотности светового потока или силы света.

Сила света (I) – это величина пространственной плотности светового потока, которая определяется как отношение светового потока dF , исходящего от источника и распространяющегося равномерно внутри элементарного телесного угла $d\omega$, к величине этого угла:

$$I = \frac{dF}{d\omega}. \quad (2.1)$$

За единицу силы света принята *кандела* (кд). Сила света в одну канделу обеспечивается световым потоком в один люмен, заключенным в единичном угле в один стерadian.

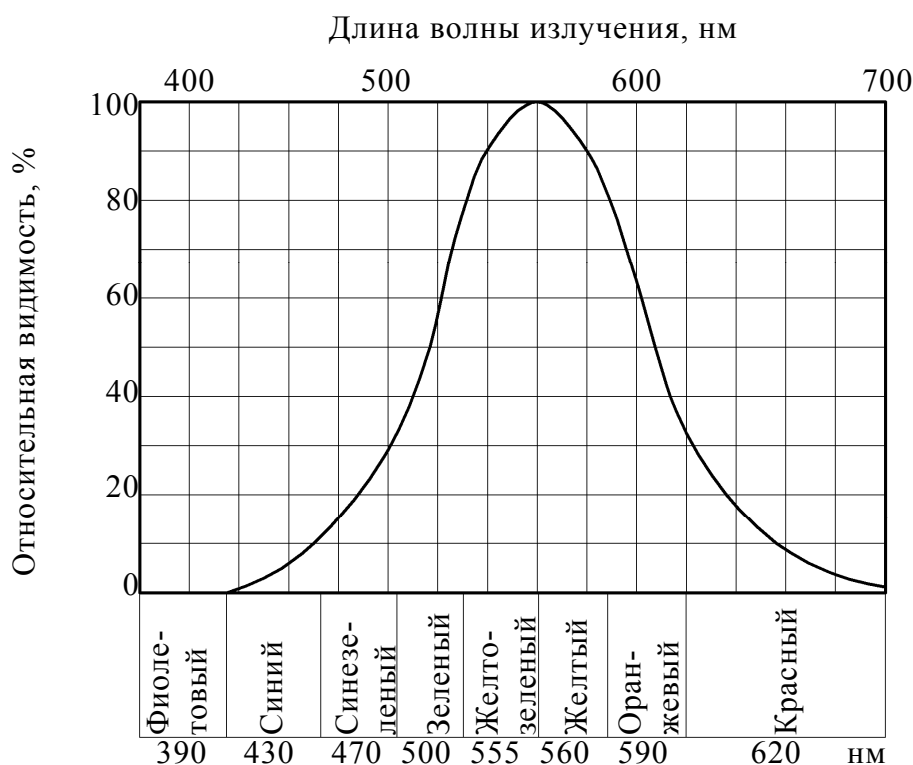


Рис. 2.1. Зависимость зрительного восприятия от длины волны

Об освещении помещения можно до некоторой степени судить по величине **освещенности** E , которая определяется поверхностной плотностью светового потока или отношением светового потока dF , подающего на поверхность, к величине этой поверхности dS , т. е.

$$E = \frac{dF}{dS}. \quad (2.2)$$

За единицу освещенности принят *люкс* (лк). Люкс – это освещенность поверхности площадью 1 м^2 при световом потоке падающего на него излучения, равном 1 лм .

Освещенность в разных точках рабочего места различна, поэтому отношение F / S принимают за среднюю освещенность.

Условия видимости определяются отношением силы света, излучаемого светящейся поверхностью в направлении зрения, к величине видимой части этой светящейся поверхности. Это отношение называется яркостью и измеряется в канделах на метр квадратный ($\text{кд}/\text{м}^2$).

За **яркость** L светящейся поверхности в каком-либо направлении принимается отношение силы света, испускаемого поверхностью в заданном направлении I , к проекции светящейся поверхно-

сти $S \cdot \cos \alpha$ на плоскость, перпендикулярную к тому же направлению, т. е.

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha}, \quad (2.3)$$

где α – угол, образованный направлением светового потока с нормалью к площадке светящейся поверхности.

За величину яркости принят *нит* (нт), который имеет размерность 1 кд/м^2 . Яркость поверхности зависит от силы света, угла падения светового потока на плоскость, цвета поверхности и т. д.

Различные предметы видимы потому, что световой поток, отраженный ими, частично воспринимается глазом. Отношение отраженного светового потока $F_{\text{отр}}$ к падающему световому потоку $F_{\text{пад}}$ называется **коэффициентом отражения** Q :

$$Q = \frac{F_{\text{отр}}}{F_{\text{пад}}}. \quad (2.4)$$

Величина Q в зависимости от цвета поверхности колеблется в пределах 0,02–0,85.

Объект различения – наименьший размер рассматриваемого предмета, отдельной его части, который необходимо различать в процессе работы. В зависимости от наименьшего размера объекта различения зрительные работы подразделяются на разряды.

Контраст объекта различения с фоном K характеризуется как процентное отношение абсолютной величины разности между яркостью объекта различения L_o и фона L_ϕ к яркости фона L_ϕ :

$$K = \frac{L_o - L_\phi}{L_\phi}. \quad (2.5)$$

Контраст оценивается как малый, если K до 0,2 (объект и фон мало отличаются по яркости); средний – $K = 0,2$ –0,5 (объект и фон заметно отличаются по яркости) и большой – K свыше 0,5 (объект и фон резко отличаются по яркости).

Фон – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон считается светлым при коэффициенте отражения поверхности Q более 0,4; средним – при $Q = 0,2$ –0,4; темным – Q менее 0,2.

В зависимости от характеристики фона и контраста объекта различения с фоном зрительные работы подразделяются на подразряды.

Видимость V – универсальная характеристика качества освещения, которая характеризует способность глаза воспринимать объект. Зависит от освещенности, размера объекта, его яркости, контраста объекта с фоном. Видимость определяется числом пороговых контрастов в контрасте объекта с фоном:

$$V = \frac{K}{K_{\text{пор}}}, \quad (2.6)$$

где K – контраст объекта с фоном; $K_{\text{пор}}$ – пороговый контраст, т. е. наименьший различимый глазом контраст, при небольшом уменьшении которого объект становится неразличимым.

Установки искусственного освещения имеют такие дополнительные характеристики, как степень слепящего действия источника света, пульсация, спектр света.

Показатель ослепленности P – критерий оценки слепящего действия осветительной установки:

$$P = (S - 1) 1000, \quad (2.7)$$

где S – коэффициент ослепленности, равный отношению видимости объекта соответственно при экранировании и при наличии источников, создающих блескость в поле зрения.

Коэффициент пульсации освещенности $K_{\text{п}}$ – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током:

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{ср}}} 100, \quad (2.8)$$

где E_{max} и E_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк; $E_{\text{ср}}$ – среднее значение освещенности за этот же период, лк.

Следует иметь в виду, что на глаз совместно действуют качественные и количественные характеристики света, обеспечивающие определенную степень работоспособности человека.

Для успешного и безопасного выполнения производственного процесса зрение человека должно все время сохранять так называемые контрастную чувствительность и остроту различения. Различение мелких деталей, рисок и т. п. (т. е. объектов различения) возможно лишь при определенном контрасте деталей и фона, на котором они рассмат-

риваются. Способность глаза различать наименьшие контрасты называется **контрастной чувствительностью**. Исследованиями установлено, что контрастная чувствительность возрастает с увеличением освещенности рабочей поверхности. Способность глаза наблюдать объекты различения называется **остротой различения**. Она зависит от контраста детали и фона, от освещенности поля зрения и других факторов. С увеличением освещенности острота различения возрастает.

Приспособляемость глаз к различной яркости ограничена определенными пределами. Если в поле зрения находятся яркости, значительно превышающие норму, то функции зрения существенно снижаются, происходит ослепление. Различают два вида слепящей яркости, или блескости: *прямую*, исходящую непосредственно от источника света (голая лампа), и *косвенную*, которую можно наблюдать на освещаемых поверхностях. Второй вид блескости часто встречается в условиях производства (при обработке металлов, на полированных и лакированных поверхностях и т. п.).

Ослепление сопровождается раздражением и резью глаз, головной болью и серьезным расстройством зрения. Работа при недостаточном освещении или переменной яркости требует сильного напряжения зрения, что приводит к частой переадаптации глаз и быстрому их переутомлению.

Способность зрения приспособляться к различной степени освещенности объясняется двумя свойствами зрения: аккомодацией и адаптацией. **Аккомодация** заключается в приспособляемости глаз различать предметы, находящиеся на разных расстояниях, что достигается изменением кривизны хрусталика глаза. Частая приспособляемость утомляет глаза, неизбежно отражается на скорости и качестве выполняемой работы и может быть косвенной причиной травматизма.

Согласно ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение», в зависимости от источника света производственное освещение может быть естественным, искусственным и совмещенным.

Естественное освещение – это освещение помещений дневным светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. По конструктивному исполнению подразделяется на *боковое* (одно- и *двухстороннее* – через проемы в наружных стенах), *верхнее* (через светоаэрационные фонари, световые проемы в перекрытиях, а также через проемы в местах перепада высот здания) и *комбинированное* (представляет собой сочетание верхнего и бокового освещения). На рис. 2.2 представлены виды естественного освещения.

Помещения с постоянным пребыванием людей должны, как правило, иметь естественное освещение.

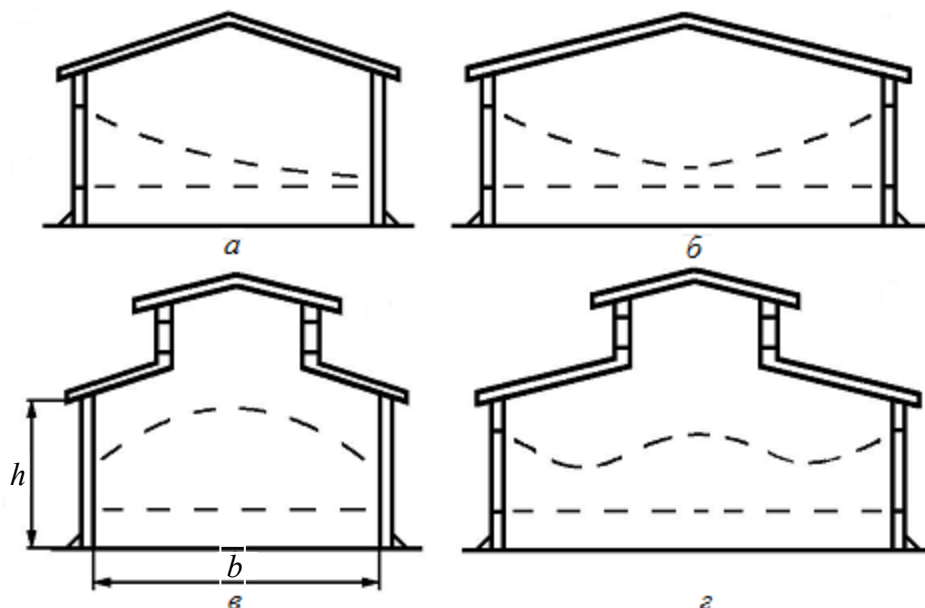


Рис. 2.2. Схема расположения световых проемов и освещенности помещений:
а – боковое одностороннее освещение (при $b < 12$ м); *б* – боковое двухстороннее (при $b > 12$ м); *в* – верхнее (при $b > 5h$);
г – комбинированное

Искусственное освещение по функциональному назначению подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное.

Рабочее освещение – освещение, обеспечивающее нормируемые осветительные условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

Аварийное освещение, в свою очередь, подразделяется на эвакуационное и освещение безопасности.

Эвакуационное освещение – освещение, предназначенное для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения. Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов и на ступенях лестниц: в помещениях – 0,5 лк, на открытых территориях – 0,2 лк.

Освещение безопасности – освещение, необходимое для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Оно предусматривается в случаях, когда отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать взрыв, пожар, отравление людей, длительный сбой технологического процесса, нарушение работы объектов, обес-

печивающих жизнедеятельность населения. Освещение безопасности должно обеспечивать на рабочих поверхностях наименьшую освещенность в размере 5% от рабочего, но не менее 2 лк внутри здания и 1 лк – на территории предприятия.

Дежурное освещение – энергосберегающее освещение, используемое в нерабочее время.

Охранное освещение – освещение, предусматриваемое вдоль границ охраняемой территории при отсутствии специальных технических средств охраны.

Искусственное освещение по месту расположения светильников используется двух систем: общее и комбинированное. **Общее** – освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (*общее равномерное*) или группируются с учетом расположения оборудования (*общее локализованное*). Система **комбинированного освещения** включает *общее* и *местное* освещение. Применение одного местного освещения (без общего) внутри помещений не допускается. Комбинированное освещение применяется при необходимости высокой освещенности рабочих поверхностей, а также тогда, когда к направлению светового потока предъявляются специальные требования. В комбинированной системе общее освещение составляет не менее 10% от требуемой нормируемой освещенности, а местное – 90%.

В качестве источников искусственного света для освещения помещений следует использовать наиболее экономичные разрядные лампы. Использование ламп накаливания для общего освещения допускается только в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности использования разрядных ламп. Для местного освещения кроме разрядных источников света рекомендуется использовать лампы накаливания, в том числе галогенные.

При **совмещенном освещении** недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

Совмещенное освещение помещений производственных зданий следует предусматривать: для производственных помещений, в которых выполняются работы I–III разрядов; для производственных и других помещений в случаях, когда по условиям технологии, организации производства или климата в месте строительства требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормированное значение коэффициента естественной освещенности (многоэтажные здания большой ширины, одноэтажные многопролетные здания с пролетами большой ширины и т. п.); в соответствии с

нормативными документами по строительному проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности.

Высокая зрительная работоспособность и производительность труда тесно связаны между собой рациональным производственным освещением. И основные требования к освещению на рабочем месте вне зависимости от источника света должны быть следующими:

- достаточность освещения, что должно обеспечить комфортные условия для общей работоспособности и оптимальные уровни яркости для работы зрительного анализатора;
- обеспечение безопасного выполнения работы;
- равномерность освещения во времени и пространстве, чтобы предметы и объекты, имеющие разную отражательную способность и значительную яркость, воспринимались органом зрения в полном объеме.

Везде, где это возможно, следует пользоваться только естественным освещением как наиболее благоприятным для зрения и экономичным. Естественный (солнечный) свет по своему спектральному составу значительно отличается от света искусственных светильников. В спектре солнечного света гораздо больше полезных для человека ультрафиолетовых лучей. Высокая диффузность (рассеивание) этого света очень благоприятна для зрения.

Нормированные значения коэффициента естественной освещенности при естественном освещении и освещенность на рабочих поверхностях при искусственном освещении изложены в ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение». ТКП 45-2.04-153-2009 включает требования к уровням освещения как для производственных условий на рабочих местах, так и для административных, санитарно-бытовых, общественных и жилых зданий и помещений.

Применяемые нормы освещенности являются нормами гигиенического минимума и должны рассматриваться как наименьший предел, допустимый с точки зрения охраны труда и здоровья трудящихся.

При выборе освещенности учитываются: точность работы, характеризующая отношением наименьшего размера подлежащих различению деталей к расстоянию до глаз (обычно 25–30 см); коэффициент отражения рабочей поверхности; контраст между деталью и фоном; длительность времени, в течение которого требуется напряжение зрения; наличие поверхностей или предметов, опасных для прикосновения и т. д.

Под **естественным**, или дневным, светом в светотехнике принято понимать свет, создаваемый солнечным и небесным излучениями. Освещение естественным светом открытой поверхности земли создается

прямым солнечным светом и диффузным (рассеянным) светом небесного излучения. Интенсивность солнечного светового излучения, или солнечная радиация, зависит от степени высоты стояния солнца над горизонтом в течение года и ежедневно; наличия или отсутствия на небе облачности; степени загрязненности атмосферы пылью, копотью, дымом; прямого или рассеянного действия света.

Следует отметить, что естественное освещение имеет резкие колебания уровня освещенности, меняющегося в течение светового дня и по временам года, в зависимости от погодных условий и ряда других факторов. Непостоянство естественного света даже в течение короткого промежутка времени вызвало необходимость нормировать естественное освещение с помощью относительного показателя – **коэффициента естественной освещенности (КЕО (e))**.

КЕО – это отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба $E_{\text{вн}}$ (непосредственным и после отражений от внутренних поверхностей помещения), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности $E_{\text{нар}}$, создаваемой светом полностью открытого небосвода, выраженное в процентах:

$$\text{КЕО}(e) = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{нар}}} 100. \quad (2.9)$$

Нормированные значения КЕО (e_N) определяют по формуле

$$e_N = e_H \cdot m. \quad (2.10)$$

где e_H – значения КЕО из табл. 2.1; m – коэффициент светового климата (табл. 2.2).

При боковом одно- и двухстороннем естественном освещении нормируется *минимальное значение КЕО*; при боковом одностороннем – на расстоянии 1 м от стены в точке, наиболее удаленной от световых проемов, и на высоте 0,8 м от пола (уровень условной рабочей поверхности), при боковом двухстороннем – в точке посередине помещения.

Условная рабочая поверхность – условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

В крупногабаритных производственных помещениях при боковом освещении минимальное значение КЕО нормируется в точке, удаленной от световых проемов:

- на 1,5 высоты помещения для работ I–IV разрядов;
- на 2 высоты помещения для работ V–VII разрядов;
- на 3 высоты помещения для работ VIII разряда.

Таблица 2.1

Нормы проектирования освещения производственных помещений (ТКП 45-2.04-153-2009)

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение	
						Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации	КЕО, e_H , %				
						при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	
														всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000	500	–	20	10	–	–	6,0	2,0
						4500	500	–	10	10				
			б	Малый Средний	Средний Темный	4000	400	1250	20	10				
						3500	400	1000	10	10				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2500	300	750	20	10				
						2000	200	600	10	10				
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	1500	200	400	20	10				
						1250	200	300	10	10				

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	а	Малый	Темный	4000 3500	400 400	– –	20 10	10 10	–	–	4,2	1,5
			б	Малый Средний	Средний Темный	3000 2500	300 300	750 600	20 10	10 10				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2000 1500	200 200	500 400	20 10	10 10				
			г	Средний Большой	Светлый Светлый	1000 750	200 200	300 200	20 10	10 10				
				Большой	Средний									
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	а	Малый	Темный	2000 1500	200 200	500 400	40 20	15 15	–	–	3,0	1,2
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000 750	200 200	300 200	40 20	15 15				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750 600	200 200	300 200	40 20	15 15				
			г	Средний Большой	Светлый Светлый	400 Большой	200 Средний	200 Средний	40 Средний	15 Средний				
				Большой	Средний									
Средней точности	Свыше 0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	750	200	300	40	20	4	1,5	2,4	0,9
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200	40	20				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20				
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	–	–	200	40	20				

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Малой точности	Свыше 1 до 5	V	а	Малый	Темный	400	200	300	40	20	3	1	1,8	0,6
			б	Малый Средний	Средний Темный	–	–	200	40	20				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	–	–	200	40	20				
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	–	–	200	40	20				
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII		То же		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: – постоянное – периодическое при постоянном пребывании людей в помещении – периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIII	а	То же		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
			б	То же		–	–	75	–	–	1	0,3	0,7	0,2
			в	То же		–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями			г	То же		–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1

Таблица 2.2

Значения коэффициента светового климата (ТКП 45-2.04-153-2009)

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата m	
		Брестская и Гомельская области	Остальная территория Республики Беларусь
В наружных стенах зданий	С	0,9	1
	СВ, СЗ	0,9	1
	З, В	0,9	1
	ЮВ, ЮЗ	0,85	1
	Ю	0,85	0,95
В прямоугольных и трапециевидных фонарях	С-Ю	0,9	1
	СВ-ЮЗ ЮВ-СЗ	0,9	1
	В-З	0,85	1
В фонарях типа «Шед»	С	0,9	1
В зенитных фонарях	—	1	1

Примечание. С – северная, СВ – северо-восточная, СЗ – северо-западная, З – западная, В – восточная, ЮВ – юго-восточная, ЮЗ – юго-западная, Ю – южная, С-Ю – север-юг, В-З – восток-запад.

При верхнем или комбинированном естественном освещении нормируется *среднее значение КЕО* в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности стен (перегородок) или осей колонн.

Характерный разрез помещения – поперечный разрез посередине помещения, плоскость которого перпендикулярна плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или продольной оси пролетов помещения (участки с наибольшим количеством рабочих мест, а также точки рабочей зоны, наиболее удаленные от световых проемов).

Допускается деление помещения на зоны с боковым освещением (зоны, примыкающие к наружным стенам с окнами) и зоны с верхним освещением. Нормирование и расчет естественного освещения в каждой зоне производятся независимо.

В практике КЕО широко используется при расчетах величины световых проемов в проектируемых зданиях. Кроме того, он применяется в качестве оценки пригодности помещения для выполнения работ заданной точности. Такая оценка проводится для помещений, целевое назначение которых изменилось.

При выборе требуемого минимального уровня освещенности рабочего места необходимо установить **разряд (характер) выполняемой зрительной работы**. Его определяют по наименьшему *размеру объекта различения* (мм).

В соответствии с ТКП 45-2.04-153-2009 все зрительные работы, проводимые в производственных помещениях, делятся на восемь разрядов. Разряд I – работы наивысшей точности с размером объекта различения менее 0,15 мм; разряд VIII – общее наблюдение за ходом технологического процесса без ограничения размера объекта различения.

В производственных помещениях со зрительной работой I–III разрядов следует устраивать совмещенное освещение.

При **искусственном освещении** рабочих мест нормируется минимальная освещенность рабочей поверхности в зависимости от разряда и подразряда выполняемой работы. Подразряд зрительной работы определяется в зависимости от характеристики фона и контраста объекта различения с фоном. Нормативные значения минимальной освещенности приведены в табл. 2.1.

Нормы освещенности, приведенные в табл. 2.1, следует повышать на одну ступень шкалы освещенности в следующих случаях:

а) при работах I–VI разрядов, если зрительная работа выполняется более половины рабочего дня;

б) при повышенной опасности травматизма, если освещенность от системы общего освещения составляет 150 лк и менее (работа на дисковых пилах, гильотинных ножницах и т. п.);

в) при специальных повышенных санитарных требованиях (например, на предприятиях пищевой и химико-фармацевтической промышленности), если освещенность от системы общего освещения – 500 лк и менее;

г) при работе или производственном обучении подростков, если освещенность от системы общего освещения – 300 лк и менее;

д) при отсутствии в помещении естественного света и постоянном пребывании работающих, если освещенность от системы общего освещения – 750 лк и менее;

е) при наблюдении деталей, вращающихся со скоростью, равной или более 5000 об/мин, или объектов, движущихся со скоростью, равной или более 1,5 м/мин;

ж) при постоянном поиске объектов различения на поверхности размером 0,1 м² и более;

з) в помещениях, где более половины работающих старше 40 лет.

При наличии одновременно нескольких признаков следует повышать нормы освещенности не более чем на одну ступень.

В помещениях, где выполняются работы IV–VI разрядов, их нужно снижать на одну ступень при кратковременном пребывании людей или при наличии оборудования, не требующего постоянного обслуживания.

При выполнении в помещениях работ I–III, IVa, IVб, IVв, Va разрядов следует применять систему комбинированного освещения. Предусматривать систему общего освещения допускается при технической невозможности или нецелесообразности устройства местного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с органами Государственного санитарного надзора.

При наличии в одном помещении рабочих и вспомогательных зон следует предусматривать локализованное общее освещение (при любой системе освещения) рабочих зон и менее интенсивное освещение вспомогательных, относя их к разряду VIIa.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10% нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при газоразрядных лампах, не менее 75 лк – при лампах накаливания. Создавать освещенность от общего освещения в системе комбинированного более 5000 лк при газоразрядных лампах и более 150 лк при лампах накаливания допускается только при наличии обоснований.

В помещениях без естественного света освещенность рабочей поверхности, создаваемую светильниками общего освещения в системе комбинированного, следует повышать на одну ступень.

Отношение максимальной освещенности к минимальной не должно превышать для работ I–III разрядов при люминесцентных лампах 1,3, при других источниках света – 1,5, для работ разрядов IV–VII – 1,5 и 2,0 соответственно.

Неравномерность освещенности допускается повышать до 3,0 в тех случаях, когда по условиям технологии светильники общего освещения могут устанавливаться только на площадках, колоннах или стенах помещения.

В производственных помещениях освещенность проходов и участков, где работа не производится, должна составлять не более 25% от нормируемой освещенности, создаваемой светильниками общего освещения, но не менее 30 лк при лампах накаливания.

При оценке и нормировании *совмещенного освещения* необходимо по данным табл. 2.1 выбрать нормативную величину КЕО для выполняемого разряда зрительной работы и конструктивного исполнения естественного освещения.

Освещенность от системы общего искусственного освещения (при совмещенном освещении) принимается по табл. 2.1 для соответствующего разряда и подразряда зрительной работы с повышением на одну ступень по шкале освещенности (кроме разрядов Ib, Iv, IIb). При этом освещенность рабочей поверхности в любом случае должна составлять не менее 200 лк при разрядных лампах и 100 лк при лампах накаливания. При использовании комбинированного искусственного освещения (в системе совмещенного) нормативная освещенность от светильников общего освещения повышается на одну ступень по шкале освещенности для всех разрядов, кроме Ia, Ib, IIa.

2. Экспериментальная часть

2.1. Описание прибора

Для измерения освещенности помещений используется люксметр Ю-116. Принцип его действия основан на фотоэлектрическом эффекте, т. е. преобразовании световой энергии в электрическую. Люксметр (рис. 2.3) состоит из фотоэлемента 5, соединенного с милливольтметром 6. Шкалы последнего проградуированы в люксах с пределами измерений: нижняя – от 0 до 30 лк, верхняя – от 0 до 100 лк. Увеличение пределов измерений осуществляется за счет применения насадок, которые надеваются на фотоэлемент. В комплект входят три насадки с коэффициентами ослабления: $M = 10$, $P = 100$, $T = 1000$ (2, 3, 4). Перечисленные насадки применяются вместе с матовой полусферической насадкой К 1.

При использовании насадок предел измерений по верхней и нижней шкалам увеличивается. Новые значения пределов измерений в зависимости от комплекта применяемых насадок указаны в правой части прибора. В левой колонке указаны предельные значения нижней шкалы прибора в зависимости от применяемого комплекта насадок (KM, KP, KT), в правой – предельные значения верхней шкалы.

Благодаря применению насадок с помощью люксметра Ю-116 можно измерять освещенность до 100 000 лк.

Перед началом измерений необходимо соединить фотоэлемент 5 с милливольтметром 6, т. е. вилку фотоэлемента вставить в гнездо прибора, **строго соблюдая полярность**. Для того чтобы прибор при этом не вынимать из футляра, в последнем напротив соединительного гнезда сделан специальный вырез. Включение прибора производится нажатием одной из кнопок в правой нижней части прибора (левая – нижняя шкала, правая – верхняя).



Рис. 2.3. Общий вид люксметра Ю-116:

1 – полусферическая насадка К; 2, 3, 4 – насадки с коэффициентами ослабления: М = 10, Р = 100, Т = 1000 соответственно;
5 – фотоэлемент; 6 – милливольтметр

Измерение освещенности следует начинать по шкале 0–30 (нажимается левая кнопка). Если при этом стрелка на шкале прибора смещается в крайнее правое положение, необходимо переключиться на шкалу 0–100 (надавливается правая кнопка). Если в этом случае стрелка прибора окажется в крайнем правом положении, следует использовать поочередно насадки КМ, КР, КТ в зависимости от освещенности, каждый раз начиная измерение по нижней шкале.

Смещение стрелки прибора в крайнее левое положение шкалы свидетельствует о том, что измеряемая освещенность мала. При этом следует заменить насадки с большим коэффициентом ослабления на насадки с меньшим коэффициентом или снять их совсем.

При определении освещенности фотоэлемент устанавливается горизонтально на рабочих местах. По окончании работы отсоединить фотоэлемент от люксметра и аккуратно уложить комплектующие элементы в футляр прибора.

2.2. Порядок выполнения работы

2.2.1. Измерение естественного освещения

1. Дать характеристику естественного освещения помещения: боковое одностороннее; боковое двухстороннее; верхнее; комбинированное.

2. Произвести измерение освещенности помещения на расстоянии 1, 2, 3, 4, 5 м от наружной стены здания (расстояние отмечено на полу шурупами). Измерение производится на уровне горизонтальной рабочей поверхности на высоте 0,8 м от пола. При этом фотоэлемент удерживается горизонтально. Одновременно необходимо произвести измерение освещенности вне помещения в точке под открытым небом (фотоэлемент выставляется в окно). Полученные данные записать в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты измерения естественного освещения

Расстояние от поверхности наружной стены L , м	1	2	3	4	5	Освещенность $E_{\text{нар}}$ вне помещения, лк
Освещенность $E_{\text{вн}}$, лк						

3. Построить кривую светораспределения в помещении (рис. 2.4).

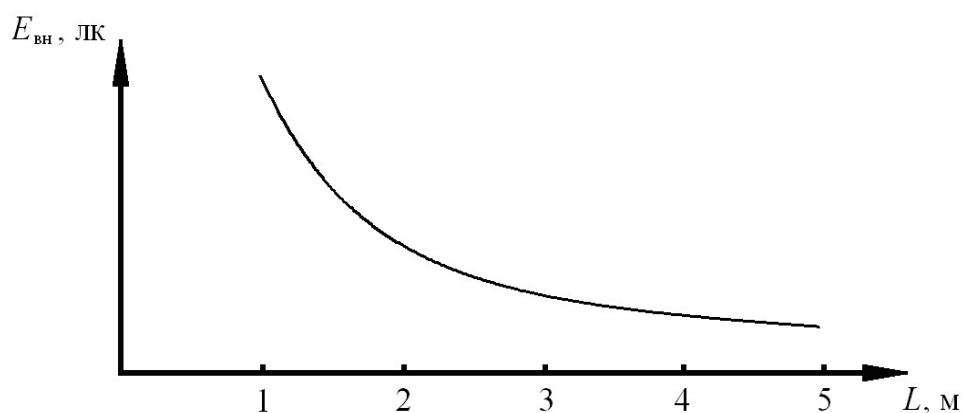


Рис. 2.4. Кривая светораспределения в помещении

4. Определить КЕО, %, для точки, расположенной в 5 м от окна, по формуле (2.9).

5. Определить разряд и подразряд зрительной работы. Например, при чтении или написании конспекта наименьшим объектом различения является точка, размер которой колеблется в пределах от 0,5 до 1,0 мм. Смотрим в табл. 2.1 столбец 2, такие размеры соответствуют разряду зрительной работы – IV (столбец 3). При этом используется белая

бумага, значит фон светлый. Так как применяем темные чернила или черную типографскую краску, то контраст объекта (точки) с фоном – большой. В табл. 2.1 для IV разряда зрительной работы в столбцах 5 и 6 ищем слова «большой» и «светлый» на одном уровне по горизонтали. По столбцу 4 определяем подразряд зрительной работы – г. Значит разряд и подразряд зрительной работы – IVг, т. е. работы средней точности.

6. На основании полученных данных и используя табл. 2.1, дать оценку помещения с точки зрения пригодности его для выполнения работ определенной точности. Указать необходимость использования совмещенного освещения.

2.2.2. Измерение совмещенного освещения

1. Пункт 2.2.2 выполняется, если при выполнении пункта 2.2.1 установлена необходимость устройства совмещенного освещения для выполнения работ заданного разряда.

2. Используя данные табл. 2.1, найти для заданного разряда зрительной работы нормативное значение КЕО при совмещенном освещении рабочих мест и сопоставить его с фактическим, полученным при оценке естественного освещения в пункте 2.2.1. Если фактическое значение КЕО меньше нормативного при совмещенном освещении, делается вывод о непригодности помещения для выполнения работ заданного разряда точности. Если фактическое значение КЕО больше нормативного при совмещенном освещении, выполнить подпункты 3 и 4.

3. Включить искусственное освещение, создав тем самым совмещенное освещение. Произвести измерение освещенности в 5 м от окна, т. е. в расчетной точке КЕО.

4. Используя табл. 2.1, определить для заданного разряда и подразряда работ нормативную освещенность в люксах (по столбцу 9) и сопоставить с фактической освещенностью. Полученные данные занести в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты измерения совмещенного освещения

Фактический КЕО, %	Нормативный КЕО при совмещенном освещении, %	Вывод о возможности устройства совмещенного освещения (возможно, невозможно)	Фактическая освещенность при совмещенном освещении (в точке с наименьшей естественной освещенностью), лк	Нормативная освещенность (искусственная освещенность), лк

Сделать вывод о соответствии фактической освещенности нормативным требованиям. При необходимости дать рекомендации по улучшению освещенности в помещении (увеличение количества светильников, установление ламп большей мощности, замена перегоревших ламп и др.).

2.2.3. Измерение искусственного освещения

1. Дать общую характеристику применяемой в помещении осветительной установки, для чего указать: а) размещение светильников – общее равномерное, общее локализованное, комбинированное; б) источники искусственного освещения – лампы накаливания, люминесцентные лампы, их мощность (для люминесцентных ламп тип цветности светового потока (ЛД, ЛХБ, ЛДЦ, ЛТБ) и мощность берутся из маркировки ламп, поставленных в светильники); в) светильники – открытые, защищенные, влагозащитные, пыленепроницаемые, взрывозащитные.

2. Зашторить окна, включить искусственный свет и произвести измерение освещенности на 4-х рабочих местах. Записать полученные данные в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Результаты измерения искусственного освещения

Рабочие места	1	2	3	4
Освещенность, лк				

3. Для заданного разряда и подразряда работ по табл. 2.1 определить минимальную освещенность и сопоставить с фактической. Сделать вывод о соответствии фактической освещенности нормативным требованиям. При необходимости дать рекомендации по улучшению освещенности в помещении.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое влияние оказывает свет на здоровье человека и его работоспособность?
2. Что такое аккомодация и адаптация зрения человека?
3. Охарактеризуйте количественные и качественные показатели света. Дайте их определения.
4. Какие виды естественного освещения рабочих помещений вы знаете?
5. Каковы физический смысл и значение величины КЕО?

6. Как определить разряд и подразряд зрительной работы?
7. Как определяется нормативное и фактическое значение КЕО?
8. Виды искусственного освещения и их характеристики.
9. Требования, предъявляемые к различным видам искусственного освещения.
10. Как определить нормативное значение освещенности рабочих мест искусственным светом?
11. Дайте характеристику совмещенного освещения помещений. Где оно должно устанавливаться?
12. Расскажите об устройстве и правилах пользования люксметром.
13. Как оценить требования к освещению производственных помещений и по ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение» выбрать значение нормируемых параметров?

ЛИТЕРАТУРА

1. Естественное и искусственное освещение: ТКП 45-2.04-153-2009. – Введ. 01.01.10. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 103 с.
2. Гармаза, А. К. Охрана труда: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по специальностям лесного профиля / А. К. Гармаза, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик. – Минск: БГТУ, 2010. – 366 с.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Цель работы: научиться работать с основными измерительными светотехническими приборами; исследовать характеристики искусственного освещения и освоить методы оценки эффективности осветительной установки.

Приборы и оборудование: установка ОТ-8, люксметр Ю-116.

1. Общие положения

В лабораторной работе изучаются влияние изменения направленности света на видимость предмета и освещенность его отраженным светом, стробоскопический эффект, изменения освещенности в пространстве (построение изолюкс), изменения освещенности в зависимости от напряжения сети.

Рациональная освещенность устанавливается в соответствии с основными функциями органа зрения человека. Освещение должно быть достаточным, равномерным, не должно ослеплять глаз и создавать блискости на рабочей поверхности.

Освещение обуславливает видимость предметов, содействует увеличению производительности и улучшению качества труда, создает определенный психологический тонус и вызывает соответствующие настроение и самочувствие, содействует уменьшению количества несчастных случаев, предупреждает зрительное и общее утомление, влияет на физиологические процессы, сердечно-сосудистую и нервную системы и общий тонус организма.

В качестве источников света в современных осветительных установках используются лампы накаливания, галогенные и газоразрядные лампы.

В **лампах накаливания** свечение возникает при нагревании вольфрамовой нити накала до высокой температуры. Производятся различные типы ламп накаливания: вакуумные (НВ), газонаполненные (как правило, наполнителем является смесь аргона и азота), би-спиральные (НБ), с криптоксеноновым наполнением (НБК), зеркальные с диффузно отражающим слоем и др.

Лампы накаливания просты в изготовлении, удобны в эксплуатации, не требуют дополнительных устройств для включения в сеть.

Недостатками их являются низкая световая отдача (от 7 до 22 лм/Вт) при большой яркости нити накала, высокая температура поверхности колбы лампы, низкий КПД (10–13%), ограниченный срок службы (от 1 до 2 тыс. ч). Лампы дают непрерывный спектр, отличающийся от спектра дневного света преобладанием желтых и красных лучей, что в какой-то степени искажает восприятие человеком окружающих предметов. Изменение напряжения в сети оказывает существенное влияние на срок службы и величину светового потока ламп накаливания (на каждые 5% изменения напряжения эти характеристики меняются на $\pm 50\%$ и $\pm 1,5\%$ соответственно). Лампы накаливания изготавливаются мощностью от 15 до 1500 Вт. В настоящее время многие страны принимают программы об отказе от ламп накаливания и переходе на другие энергосберегающие источники света. Например, конгресс США принял такое решение и с 2013 г. лампы накаливания на территории страны не будут использоваться, что позволит сэкономить до 2/3 электроэнергии.

Галогенные лампы накаливания наряду с вольфрамовой нитью содержат в колбе пары того или иного галогена, например йода, что позволяет повысить температуру накала нити и практически исключить испарение вольфрама. Они имеют более продолжительный срок службы (до 3000 ч) и более высокую светоотдачу (до 40 лм/Вт). Светильники с галогенными лампами дают яркий свет, обеспечивающий высокую цветопередачу.

Галогенные лампы накаливания с йодным циклом имеют лучший спектральный состав света и хорошие экономические характеристики и поэтому получают все большее распространение. Образующиеся при работе такой лампы пары вольфрама соединяются с йодом и вновь оседают на вольфрамовую спираль, препятствуя ее распылению. В осветительных установках производственных зданий применяют лампы типа КГ 220-1000, КГ 220-1500, КГ 220-2000 мощностью до 2 кВт. Эти лампы отличаются большой стабильностью светового потока, который снижается к концу срока службы только на несколько процентов.

Газоразрядные лампы излучают свет в результате электрического разряда в парах и газах. На внутреннюю поверхность стеклянной трубки наносится тонкий слой люминофора, который преобразует ультрафиолетовое излучение газового электрического разряда в видимый свет. Различают газоразрядные лампы низкого (люминесцентные) и высокого давлений.

Люминесцентные лампы создают в помещениях искусственный свет, приближающийся по спектру к естественному, они более благоприятны для человека с гигиенической точки зрения.

Кроме того, такие лампы имеют высокую светотдачу (до 110 лм/Вт), т. е. они в 3–3,5 раза экономичнее ламп накаливания, и большой срок службы (до 14 000 ч). Свечение происходит со всей поверхности трубки, а, следовательно, яркость и слепящее действие люминесцентных ламп значительно ниже, чем ламп накаливания. Низкая температура поверхности колбы делает лампу относительно пожаробезопасной.

Однако газоразрядные лампы имеют свои недостатки: пульсация светового потока, вызывающая стробоскопический эффект (искажение зрительного восприятия объектов различения – вместо одного предмета видны изображения нескольких, а также искажаются направление и скорость движения, что повышает вероятность производственного травматизма и делает невозможным выполнение некоторых производственных операций); дорогостоящая и относительно сложная схема включения лампы в сеть, требующая регулирующих пусковых устройств (дрессели, стартеры); значительная отраженная блескость; чувствительность к колебаниям температуры окружающей среды (оптимальная температура 20–25°C, повышение и понижение температуры вызывает снижение светового потока); чувствительность к колебаниям напряжения в сети (снижение напряжения в сети на 10–15% резко снижает световой поток либо гасит лампу).

От газоразрядных ламп можно получить световой поток практически в любой части спектра. Это достигается соответствующим подбором люминофора и состава инертных газов и паров металлов, в атмосфере которых происходит разряд.

В зависимости от состава люминофора и особенностей конструкции различают несколько типов ламп с разным спектральным составом света: лампы белого света (ЛБ), дневного света (ЛД), дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ), тепло-белого света (ЛТБ), холодного света (ЛХБ) и др. Лампы ЛХБ, ЛД и особенно ЛДЦ используются в случаях, когда выполняемая работа требует высокого уровня цветоразличения.

В настоящее время широко применяются энергосберегающие флуоресцентные лампы (ЭФЛ), представляющие собой трубку, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором и наполнена парами ртути под низким давлением. В трубку с обоих концов впаяны электроды. При включении лампы в сеть в трубке образуется газовый

разряд, генерирующий коротковолновое ультрафиолетовое излучение, при этом происходит возбуждение атомов люминофора, преобразующееся в видимое излучение.

Для освещения открытых пространств, территорий предприятий, улиц, высоких (более 6 м) производственных помещений используются газоразрядные *лампы высокого давления*. К ним относятся дуговые ртутные люминесцентные лампы типа ДРЛ, галогенные лампы ДРИ (дуговые ртутные с йодидами), ксеноновые лампы сверхвысокого давления ДКсТ (дуговые ксеноновые трубчатые), натриевые лампы ДНаТ (дуговые натриевые трубчатые) и т. д. Эти лампы сосредотачивают в небольшом объеме значительную электрическую и световую мощность. Они выпускаются мощностью от 80 до 2000 Вт и могут эксплуатироваться при любой температуре окружающей среды. Их можно устанавливать в обычных светильниках взамен ламп накаливания.

Недостатком ламп типа ДРЛ является длительность разгорания (3–7 мин) при их включении. Этот недостаток отсутствует у ламп ДКсТ и ДНаТ.

В последнее время все шире начинают использоваться светоизлучающие диоды для дежурной подсветки панелей приборов, пультов управления, полов в коридорах. Они не боятся ударов, бросков тока, характеризуются низким энергопотреблением, в 100 раз меньшим, чем у соответствующих ламп накаливания, высоким сроком службы (около 10 лет), пожаробезопасны.

Качественные показатели освещения в производственных помещениях во многом определяются правильным выбором осветительных приборов, представляющих собой совокупность источников света и осветительной арматуры. Основное назначение последней заключается в перераспределении светового потока источников света в требуемых для освещения направлениях, механическом креплении источников света и подводе к ним электроэнергии, а также защите ламп, оптических и электрических элементов от воздействия окружающей среды. Осветительная арматура предохраняет источники света от загрязнения и механических повреждений и изолирует их от внешней среды. Осветительный прибор ближнего действия называется светильником, а дальнего – прожектором.

Величина освещенности нормируется ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение». Для получения нормируемой величины освещенности при расчетах применяют метод коэффициента использования светового потока и точечный метод.

Метод коэффициента использования светового потока позволяет обеспечить среднюю освещенность горизонтальной поверхности с учетом всех падающих на нее потоков – как прямых, так и отраженных.

Точечный метод позволяет обеспечить заданное распределение освещенности на расположенных как угодно поверхностях, но лишь приближенно учесть отражаемый поверхностями помещения свет. Точечный метод основан на применении графиков или таблиц, позволяющих непосредственно или после нескольких вычислений определить освещенность любой точки поверхности, создаваемую светильником с известными параметрами: светораспределением, световым потоком ламп и геометрическими характеристиками, определяющими расположение светильника. Наиболее широко применяемыми примерами решения этой задачи являются три вида графиков: кривые относительной освещенности, пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности и условные изолюксы.

Кривые относительной освещенности позволяют вести расчет с высокой степенью точности, но более трудоемки по сравнению с пространственными изолюксами, которые дают непосредственно суждение о наивыгоднейшей высоте установки светильника при заданном значении расстояния освещаемого предмета на горизонтальной поверхности от светильника.

Для определения относительной освещенности от светильников с некругосимметричным распределением, при котором описанные выше способы непригодны, применяются условные изолюксы.

2. Экспериментальная часть

2.1. Оборудование и приборы

Работа выполняется на установке ОТ-8, предназначенной для исследования характеристик искусственного освещения рабочего места. Установка состоит из следующих основных узлов: камеры полусферической (рис. 3.1) и стойки осветительной (рис. 3.2).

Полусферическая камера служит для изучения влияния направления света на видимость объекта, определения силы света рассеянного потока и демонстрации стробоскопического эффекта.

Она состоит из следующих основных частей: полусферы 5, на наружной поверхности которой размещены смотровые глазки 4 и 24 и лючки 3; основания 6, внутри которого имеется привод, состоящий из двигателя 22, двух шестерен 21 и 26 и осветительных ламп 27; перего-

родки с перекрывающимися отверстиями 19. На дне камеры находятся стробоскопический диск 18 с нанесенными полосами 29 черного цвета и предметный столик 17. По внутренней полусферической поверхности размещены лампы накаливания 16, а в зените – люминесцентные лампы 23. Управление перекрытием отверстий 19 находится снаружи и состоит из маховика 13 и винта, перемещающего щиток 20. Скорость вращения стробоскопического диска можно регулировать маховиком 12.

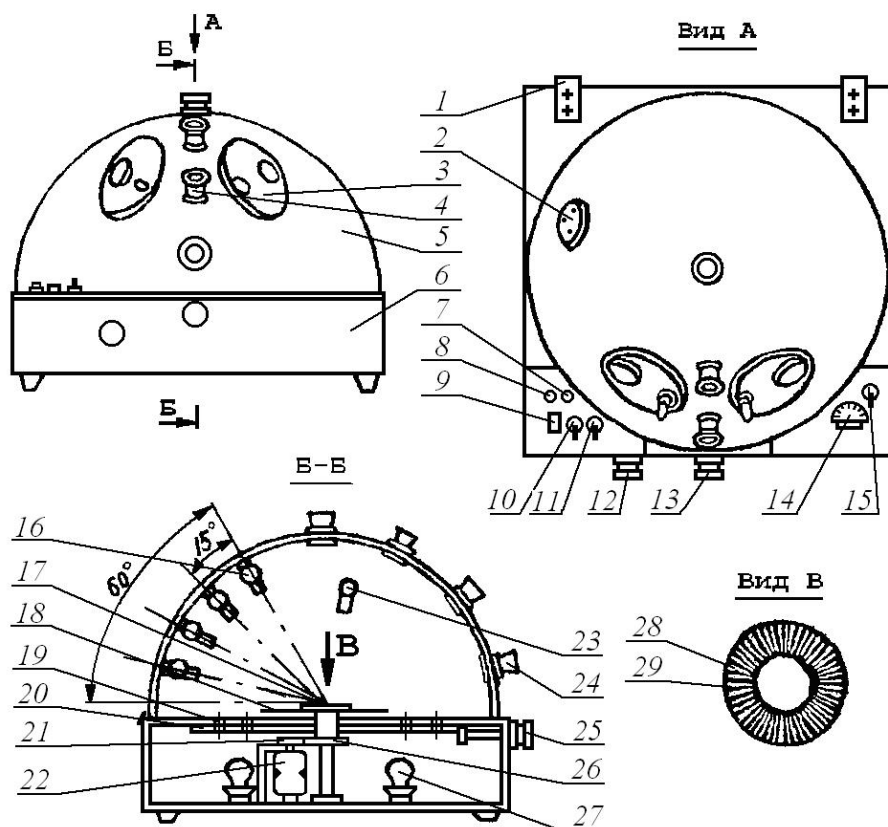


Рис. 3.1. Общий вид полусферической камеры:

- 1 – петли; 2 – люк; 3 – лючок; 4, 24 – смотровые глазки; 5 – полусфера;
 6 – основание; 7–8 – сигнальные лампы; 9 – автомат ввода; 10 – тумблер пуска двигателя; 11 – тумблер управления люминесцентными лампами;
 12, 13, 25 – маховики; 14 – переключатель ламп полусферы; 15 – тумблер включения ламп камеры; 16 – лампа накаливания; 17 – предметный столик;
 18, 28 – стробоскопический диск; 19 – перегородка; 20 – щиток;
 21, 26 – шестерни; 22 – двигатель; 23 – люминесцентная лампа;
 27 – осветительная лампа; 29 – полосы на диске

На панели управления размещены: сигнальная лампа 8, автомат ввода 9, сигнальная лампа вращения стробоскопического диска 7, тумблер пуска и остановки двигателя 10, тумблер управления люми-

несцентными лампами 11, тумблер включения ламп камеры 15 и переключатель ламп полусферы 14. Для доступа к предметному столику предусмотрен люк 2. Полусфера для доступа во внутреннюю сферу может открываться, вращаясь на петлях 1.

Стойка осветительная (рис. 3.2) служит штативом для светильников и для прибора измерения освещенности. Она состоит из следующих основных узлов: основания 9, двух вертикальных стоек 3, передвижного штатива 8, пультов управления 6 и 14, траверсы 1 со светильником 2, горизонтальной 5 и вертикальной 4 линеек. Включение питания производится тумблером «Сеть» 11, при этом загорается сигнальная лампа 10. Изменение напряжения питания осветительных ламп производится маховиком 12, а измерение напряжения – вольтметром 13. Включение ламп осуществляется тумблером с пульта 6. Для перемещения подвижного штатива необходимо нажать на тормозную собачку 7 и двигать его в нужном направлении.

Для измерения освещенности в лабораторной работе используется люксметр Ю-116. Принцип его действия основан на фотоэлектрическом эффекте, т. е. преобразовании световой энергии в электрическую. Люксметр состоит из фотоэлемента, соединенного с милливольтметром. Шкалы последнего проградуированы в люксах с пределами измерений: нижняя – от 0 до 30 и верхняя – от 0 до 100 лк. Увеличение пределов измерений осуществляется за счет применения насадок, которые надеваются на фотоэлемент. В комплект входят три насадки с коэффициентами ослабления: $M = 10$, $P = 100$, $T = 1000$. Перечисленные насадки применяются вместе с полусферической матовой насадкой К. При пользовании насадками данные, полученные по шкале прибора, необходимо умножить на величину коэффициента ослабления. Благодаря применению насадок люксметром Ю-116 можно измерить освещенность до 100 000 лк.

Перед началом необходимо соединить фотоэлемент с люксметром, т. е. вилку фотоэлемента вставить в гнездо прибора (расположено в левой боковой стенке). Чтобы прибор при этом не вынимать из футляра, в последнем напротив соединительного гнезда сделан специальный вырез. Включение прибора производится нажатием одной из кнопок, расположенных в его правой нижней части.

Если величина измеряемой освещенности неизвестна, определение следует начинать при последовательно надетых насадках КТ; КР; КМ сначала по шкале 0–100 (нажимается правая кнопка). Если при этом стрелка по шкале прибора смещается в крайнее левое положение, необходимо включить шкалу 0–30 (нажимается левая кнопка).

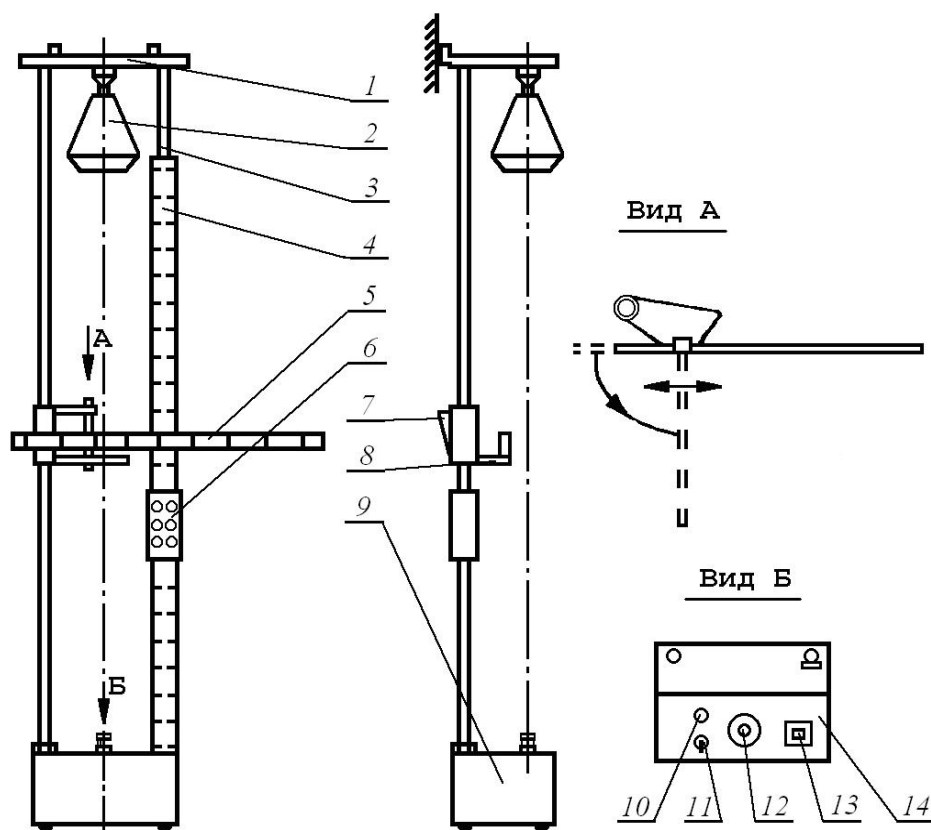


Рис. 3.2. Общий вид осветительной установки:

1 – траверса; 2 – светильник; 3 – вертикальная стойка; 4 – вертикальная линейка; 5 – горизонтальная линейка; 6, 14 – пульт управления; 7 – тормозная собачка; 8 – передвижной штатив; 9 – основание; 10 – сигнальная лампа; 11 – тумблер; 12 – маховик; 13 – вольтметр

При малом значении измеряемой освещенности и смещении стрелки прибора в крайнее левое положение шкалы 0–30 следует заменить насадки с большим коэффициентом ослабления света на насадки с меньшим коэффициентом или снять их совсем. Так, если при использовании насадок КМ и нажатой левой кнопке стрелка не доходит до 5-го деления по шкале 0–30, измерения надо проводить без насадок, т. е. открытым фотоэлементом.

При определении освещенности фотоэлемент устанавливается горизонтально на рабочих местах.

При окончании измерения отсоединить фотоэлемент от измерителя люксметра, надеть на него насадку Т и уложить в крышку футляра.

2.2. Порядок выполнения работы

Пункты 2.2.1–2.2.3 выполняются на полусферической камере (рис. 3.1), 2.2.4–2.2.5 – на осветительной стойке (рис. 3.2).

2.2.1. Изучение влияния направления света на видимость предмета (объекта различения)

1. Через окно 2 полусферической камеры на предметном столике 17 (предполагаемое место расположения объекта различения) установить фотоэлемент люксметра.

2. Переключателем 14 включить имитирующие местное освещение лампы 16, расположенные с правой и левой стороны и на задней стенке полусферы. Расположение ламп (в градусах) в вертикальной плоскости отмечено на панели управления у переключателя 14 (поперечные лампы 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 105°, 135°, 165°; продольные – 15°, 30°, 45°, 60°). Записать показания люксметра (при использовании открытого фотоэлемента, с насадкой КМ, шкалы 0–100 лк и нажатой правой кнопке) для каждой лампы в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Зависимость освещенности от направления света

Наименование параметров	Поперечные лампы								Продольные лампы			
Угол наклона лампы, град	15	30	45	60	75	105	135	165	15	30	45	60
Освещенность E , лк												

3. Построить график зависимости освещенности от направления света (для продольных и поперечных ламп) в координатах: угол наклона (град) – освещенность (лк).

2.2.2. Изучение общего освещения, создаваемого отраженным светом

Внутренняя поверхность полусферы 5 окрашена белой краской и имитирует эффект общего рассеянного освещения при освещении снизу лампами общего освещения через перегородки с перекрывающимися отверстиями.

1. Фотоэлемент люксметра (без насадок) оставить на предметном столике 17.

2. Включить тумблером 15 лампы общего освещения 27.

3. Поворотом ручки 25 установить диафрагму 19 так, чтобы вначале полностью открытые отверстия перекрывались последовательно на одну треть, наполовину, на две трети, и измерить освещенность при каждом заданном положении диафрагмы (при нажатой левой кнопке и использовании шкалы 0–30 лк). Записать данные измерений в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Зависимость освещения от зазора отверстий

Перекрытие зазора отверстий	0	1/3	1/2	2/3
Освещенность E , лк				

2.2.3. Изучение стробоскопического эффекта

1. Вынуть из полусферы фотоэлемент люксметра!
2. Включить автомат ввода 9 (при этом включается сигнальная лампа 8).
3. Тумблером 10 включить вращение стробоскопического диска. При этом должна загореться сигнальная лампочка 7.
4. Наблюдение за стробоскопическим диском вести через одно из смотровых глазков 24.
5. Маховиком 25, задавая различную скорость вращения диска, установить такую скорость его вращения, при которой наблюдается стробоскопический эффект.
6. Описать явление, используя данные наблюдений и положения, содержащиеся в теоретической части.

2.2.4. Построение изолюкс

1. Установить горизонтальную линейку осветительной стойки (рис. 3.2) в верхнем положении на отметке 0.
2. Включить лампу светильника заданной мощности соответствующим тумблером управления 6.
3. Замерить и записать горизонтальную освещенность под светильником, располагая фотоэлемент в горизонтальной плоскости.
4. Переместить люксметр на 10 см по горизонтальной линейке 5 и вновь измерить и записать горизонтальную освещенность.
5. Продолжить замеры в последующих точках (20, 30 и т. д.) до наибольшего расстояния, позволяемого линейкой.
6. Линейку 5 опустить на 10 см по шкале 4 и замерить освещенность в тех же точках на горизонтали, что и в предыдущих опытах (3–5).
7. Опустить по шкале 4 линейку на 10 см и повторить замеры. Результаты занести в табл. 3.3. Далее произвести серию измерений для последующих положений люксметра (перемещая линейку по высоте, а люксметр по горизонтали).

Таблица 3.3

Зависимость освещенности от расстояния до светильника

Расстояние от светильника до фотоэлемента люксметра по вертикальной линейке, см (фотоэлемент в горизонтальной плоскости)	Освещенность E , лк				
	Расстояние от светильника до фотоэлемента люксметра по горизонтальной линейке, см				
	0	10	20	30	и т. д.
0					
10					
и т. д.					

8. Полученные результаты измерений (в люксах) нанести на график в координатах $h-d$ (аналогично рис. 3.3) и одинаковые значения освещенности соединить между собой плавными кривыми.



Рис. 3.3. Кривые одинаковых освещенностей светильника с лампой накаливания 25 Вт

9. Повторить все операции по пп. 1–8, располагая фотоэлемент люксметра в вертикальной плоскости. Форма таблицы для записей результатов аналогична табл. 3.3.

10. Построить аналогично п. 8 кривые вертикальной освещенности.

2.2.5. Изучение влияния напряжения сети на освещенность

1. Измерить освещенность на определенной отметке по шкале 4, например 100 см, при нормальном напряжении сети.

2. Маховичком 12 изменить напряжение питания осветительных ламп $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, контролируя по вольтметру 13.

3. Данные занести в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Зависимость освещенности от напряжения сети

$U, В$	220	225	235	215	210	200
$E, лк$						

4. Выявить зависимость освещенности от напряжения сети.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какая цель преследуется при выполнении данной лабораторной работы?
2. На какие факторы влияет производственное освещение?
3. Какие лампы применяют для искусственного освещения?
4. В чем заключены достоинства и недостатки ламп накаливания и люминесцентных ламп?
5. В чем заключена сущность стробоскопического эффекта и его практическая опасность?
6. Каким документом нормируется освещенность?
7. Какие методы используются для получения нормируемой величины освещенности?
8. Какие приборы и установки используются для исследований характеристик искусственного освещения рабочих мест?
9. Какие характеристики искусственного освещения можно измерить с помощью полусферической камеры и осветительной установки?
10. В чем заключен принцип действия люксметра Ю-116 и какие пределы измерения освещенности допустимы с его применением?

ЛИТЕРАТУРА

1. Челноков, А. А. Охрана труда: учебник / А. А. Челноков, И. Н. Жмыхов, В. Н. Цап; под общ. ред. А. А. Челнокова. – Минск: Выш. шк., 2011. – 671 с.
2. Естественное и искусственное освещение: ТКП 45-2.04-153-2009. – Введ. 01.01.10. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 103 с.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ ПАРОВ ОГНЕОПАСНЫХ ЖИДКОСТЕЙ И КАТЕГОРИИ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Цель работы: определить температуру вспышки огнеопасных жидкостей, полученные данные использовать для определения категории помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности и для классификации этих жидкостей по разряду опасности; определить основные требования к конструкциям зданий и расположению их на территории предприятия.

Приборы и оборудование: установки ПВНЭ, ЛТВО, ТВО.

1. Общие положения

Большинство промышленных предприятий отличаются повышенной пожарной опасностью, так как их характеризуют сложность производственных процессов и установок, наличие значительного количества огнеопасных жидкостей, горючих газов, твердых сгораемых материалов, большого количества емкостей и аппаратов, в которых находятся пожароопасные продукты под давлением, разветвленной сети трубопроводов с запорно-пусковой и регулирующей арматурой, большого количества электроустановок.

При оценке пожарной опасности того или иного технологического процесса необходимо знать, какие огнеопасные вещества или смеси используются, получаются или могут образовываться в процессе производства. Более высокую категорию пожарной опасности имеют предприятия с наличием веществ, способных образовывать взрывоопасные смеси с воздухом (горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости, пылевидные горючие материалы). Показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов определяют с целью получения исходных данных для разработки систем по обеспечению пожарной и взрывобезопасности.

Согласно ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения», пожаровзрывоопасность веществ и материалов определяется показателями, выбор которых зависит от агрегатного состояния вещества (материала) и условий его применения.

При определении пожаровзрывоопасности веществ и материалов различают: **газы** – вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25°C и давлении 101,3 кПа превышает 101,3 кПа; **жидкости** – вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25°C и давлении 101,3 кПа меньше 101,3 кПа. К жидкостям относят также твердые плавящиеся вещества, температура плавления или каплепадения которых меньше 50°C; **твердые вещества и материалы** – индивидуальные вещества и их смесевые композиции с температурой плавления или каплепадения больше 50°C, а также вещества, не имеющие температуры плавления (например, древесина, ткани и т. п.); **пыли** – диспергированные твердые вещества и материалы с размером частиц менее 850 мкм.

Номенклатура показателей и их применяемость для характеристики пожаровзрывоопасности веществ и материалов приведена в табл. 4.1. Число показателей, необходимых и достаточных для характеристики пожаровзрывоопасности веществ и материалов в условиях производства, переработки, транспортирования и хранения, определяет разработчик системы обеспечения пожаровзрывобезопасности объекта или разработчик стандарта и технических условий на вещество (материал).

Пожаровзрывоопасность веществ и материалов – совокупность свойств, характеризующих способность к возникновению и распространению горения. Следствием горения, в зависимости от его скорости и условий протекания, могут быть пожар (диффузионное горение) или взрыв (дефлаграционное горение предварительно перемешанной смеси горючего с окислителем).

Группа горючести – классификационная характеристика способности веществ и материалов к горению. Этот показатель применим для всех агрегатных состояний.

По горючести вещества и материалы подразделяют на три группы:

- **негорючие (несгораемые)** – вещества и материалы, не способные к горению в воздухе. Негорючие вещества могут быть пожаровзрывоопасными (например, окислители или вещества, выделяющие горючие продукты при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом);

- **трудногорючие (трудносгораемые)** – вещества и материалы, способные гореть в воздухе при воздействии источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления;

- **горючие (сгораемые)** – вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться при воздействии источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

Таблица 4.1

**Номенклатура показателей и их применяемость
для характеристики пожаровзрывоопасности веществ и материалов**

Показатель	Агрегатное состояние веществ и материалов			
	Газы	Жидкости	Твердые	Пыли
Группа горючести	+	+	+	+
Температура вспышки	–	+	–	–
Температура воспламенения	–	+	+	+
Температура самовоспламенения	+	+	+	+
Концентрационные пределы распространения пламени (воспламенения)	+	+	–	+
Температурные пределы распространения пламени (воспламенения)	–	+	–	–
Температура тления	–	–	+	+
Условия теплового самовозгорания	–	–	+	+
Минимальная энергия зажигания	+	+	–	+
Кислородный индекс	–	–	+	–
Способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами	+	+	+	+
Нормальная скорость распространения пламени	+	+	–	–
Скорость выгорания	–	+	–	–
Коэффициент дымообразования	–	–	+	–
Индекс распространения пламени	–	–	+	–
Показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов	–	–	+	–
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода	+	+	–	+
Минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора	+	+	–	+
Максимальное давление взрыва	+	+	–	+
Скорость нарастания давления взрыва	+	+	–	+
Концентрационный предел диффузионного горения газовых смесей в воздухе	+	+	–	–

Примечание.

1. Знак «+» обозначает применяемость, знак «–» – неприменяемость показателя.
2. Кроме указанных в табл. 4.1, допускается использовать другие показатели, более детально характеризующие пожаровзрывоопасность веществ и материалов.

На практике группу горючести используют для подразделения материалов по горючести, при установлении классов взрывоопасных и пожароопасных зон по ПУЭ, при определении категории помеще-

ний и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, при разработке мероприятий для обеспечения пожаро- и взрывобезопасности оборудования и помещений.

Температура вспышки – наименьшая температура конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания; устойчивое горение при этом не возникает.

Вспышка – быстрое сгорание газопаровоздушной смеси над поверхностью горючего вещества, сопровождающееся кратковременным видимым свечением.

Значение температуры вспышки применяется для характеристики пожарной опасности жидкости, при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, при разработке мероприятий по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности оборудования и помещений.

Температура воспламенения – наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

Воспламенение – пламенное горение вещества, инициированное источником зажигания и продолжающееся после его удаления.

Значение температуры воспламенения применяется при определении группы горючести вещества, оценке пожарной опасности оборудования и технологических процессов, связанных с переработкой горючих веществ, при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Температура самовоспламенения – наименьшая температура окружающей среды, при которой в условиях специальных испытаний наблюдается самовоспламенение вещества.

Самовоспламенение – резкое увеличение скорости экзотермических объемных реакций, сопровождающееся пламенным горением и (или) взрывом.

Значение температуры самовоспламенения применяется при определении группы взрывоопасной смеси, для выбора типа взрывозащищенного электрооборудования, при разработке мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности технологических процессов.

Концентрационные пределы распространения пламени (воспламенения) – тот интервал концентраций, в котором возможно горение смесей горючих паров и газов с окислителем.

Нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени (НКПП и ВКПП) – минимальное (максимальное) содержание горючего в смеси горючее вещество – окислительная среда, при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания. Внутри этих пределов смесь горючая, а вне их – смесь гореть неспособна.

Значения концентрационных пределов применяются при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, при расчете взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей внутри технологического оборудования и трубопроводов, при проектировании вентиляционных систем, а также при расчете предельно допустимых взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей в воздухе рабочей зоны с потенциальными источниками зажигания, при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта.

Температурные пределы распространения пламени – такие температуры вещества, при которых его насыщенный пар образует в окислительной среде концентрации, равные соответственно нижнему (нижний температурный предел НТПП) и верхнему (верхний температурный предел ВТПП) концентрационным пределам распространения пламени.

Значения температурных пределов применяются при разработке мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности объекта, при расчете пожаровзрывобезопасных температурных режимов работы технологического оборудования, при оценке аварийных ситуаций, связанных с разливом горючих жидкостей.

Температура тления – температура вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций окисления, заканчивающихся возникновением тления.

Тление – беспламенное горение твердого вещества (материала) при сравнительно низких температурах (400–600°C), часто сопровождающееся выделением дыма.

Значение температуры тления применяется при экспертизах причин пожаров, выборе взрывозащищенного электрооборудования и разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов, оценке пожарной опасности полимерных материалов и разработке рецептур материалов, не склонных к тлению.

Условия теплового самовозгорания – экспериментально выявленная зависимость между температурой окружающей среды, количеством вещества (материала) и временем до момента его самовозгорания.

Самовозгорание – резкое увеличение скорости экзотермических процессов в веществе, приводящее к возникновению очага горения.

Результаты оценки условий теплового самовозгорания применяются при выборе безопасных условий хранения и переработки самовозгорающихся веществ.

Минимальная энергия зажигания – наименьшая энергия электрического разряда, способная воспламенить наиболее легко воспламеняющуюся смесь горючего вещества с воздухом.

Значение минимальной энергии зажигания применяется при разработке мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасных условий переработки горючих веществ и электростатической искробезопасности технологических процессов.

Кислородный индекс – минимальное содержание кислорода в кислородно-азотной смеси, при котором возможно свечеообразное горение материала в условиях специальных испытаний.

Значение кислородного индекса применяется при разработке полимерных композиций пониженной горючести и контроле горючести полимерных материалов, тканей, целлюлозно-бумажных изделий и других материалов.

Способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами – это качественный показатель, характеризующий особую пожарную опасность некоторых веществ. Он применяется при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, при выборе безопасных условий проведения технологических процессов и условий совместного хранения и транспортирования веществ и материалов, при выборе или назначении средств пожаротушения.

Нормальная скорость распространения пламени – скорость перемещения фронта пламени относительно несгоревшего газа в направлении, перпендикулярном к его поверхности.

Значение нормальной скорости распространения пламени применяется в расчетах скорости нарастания давления взрыва газо- и паровоздушных смесей в закрытом, негерметичном оборудовании и помещениях, критического (гасящего) диаметра при разработке и создании огнепреградителей, площади легкобрасываемых конструкций, предохранительных мембран и других разгерметизирующих устройств; при разработке мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности технологических процессов.

Скорость выгорания – количество жидкости, сгорающей в единицу времени с единицы площади. Скорость выгорания характеризует интенсивность горения жидкости.

Коэффициент дымообразования – показатель, характеризующий оптическую плотность дыма, образующегося при пламенном горении или тлении определенного количества твердого вещества (материала) в условиях специальных испытаний.

Значение коэффициента дымообразования применяется для классификации материалов по дымообразующей способности.

Индекс распространения пламени – условный безразмерный показатель, характеризующий способность веществ воспламеняться, распространять пламя по поверхности и выделять тепло.

Показатель токсичности продуктов горения – отношение количества материала к единице объема замкнутого пространства, в котором образующиеся при горении материала газообразные продукты вызывают гибель 50% подопытных животных.

Минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора – наименьшая концентрация флегматизатора в смеси с горючим и окислителем, при которой смесь становится неспособной к распространению пламени при любом соотношении горючего и окислителя. Ее значение применяется при разработке мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности технологических процессов методом флегматизации.

Минимальное взрывоопасное содержание кислорода – такая концентрация кислорода в горючей смеси, состоящей из горючего вещества, воздуха и флегматизатора, меньше которой распространение пламени в смеси становится невозможным при любой концентрации горючего в смеси, разбавленной данным флегматизатором.

Концентрационный предел диффузионного горения газовых смесей в воздухе (ПДГ) – предельная концентрация горючего газа в смеси с разбавителем, при которой данная газовая смесь при истечении в атмосферу не способна к диффузионному горению.

Предприятия, на которых перерабатываются или используются горючие жидкости, представляют собой большую пожарную опасность. Это объясняется тем, что горючие жидкости легко воспламеняются, интенсивно горят, образуют взрывоопасные паровоздушные смеси и плохо поддаются тушению водой.

Горение жидкостей происходит только в паровой фазе. Скорость испарения и количество паров жидкости зависят от ее природы и температуры. Количество насыщенных паров над поверхностью жидкости зависит от ее температуры и атмосферного давления. В состоянии насыщения число испаряющихся молекул равно числу конденсирующихся, и концентрация пара остается постоянной. Горение паровоз-

душных смесей возможно только в определенном диапазоне концентраций, т. е. они характеризуются концентрационными пределами распространения пламени (НКПП и ВКПП).

Процесс воспламенения и горения жидкостей можно представить следующим образом. Для воспламенения необходимо, чтобы жидкость была нагрета до определенной температуры (не меньше НТПРП). После воспламенения скорость испарения должна быть достаточной для поддержания постоянного горения. Эти особенности горения жидкостей характеризуются температурами вспышки и воспламенения. Температура вспышки соответствует нижнему температурному пределу воспламенения.

В зависимости от численного значения температуры вспышки жидкости подразделяются на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) и горючие (ГЖ).

К **легковоспламеняющимся жидкостям** относятся жидкости с температурой вспышки не более 61°C в закрытом тигле или 66°C в открытом тигле. Для ЛВЖ температура воспламенения обычно на 1–5°C выше температуры вспышки, а для горючих жидкостей эта разница может достигать 30–35°C.

В зависимости от температуры вспышки ЛВЖ подразделяются на три разряда.

Особо опасные ЛВЖ – с температурой вспышки от –18°C и ниже в закрытом тигле или от –13°C и ниже в открытом тигле. К особо опасным ЛВЖ относятся ацетон, диэтиловый спирт, изопентан и др.

Постоянно опасные ЛВЖ – это горючие жидкости с температурой вспышки от –18°C до +23°C в закрытом тигле или от –13°C до +27°C в открытом тигле. К ним относятся бензил, толуол, этиловый спирт, этилацетат и др.

Опасные при повышенной температуре ЛВЖ – это горючие жидкости с температурой вспышки от 23°C до 61°C в закрытом тигле. К ним относятся хлорбензол, скипидар, уайт-спирит и др.

Температура вспышки жидкостей, принадлежащих к одному классу (жидкие углеводороды, спирты и др.), закономерно изменяется в гомологическом ряду, повышаясь с увеличением молекулярной массы, температуры кипения и плотности. Температуру вспышки определяют экспериментальным и расчетным путем.

Экспериментально температуру вспышки определяют в приборах закрытого и открытого типа:

– в закрытом тигле на приборе Мартенса-Пенского по методике, изложенной в ГОСТ 12.1.044-89, – для нефтепродуктов;

– в открытом тигле на приборе ТВ ВНИИПО по методике, приведенной в ГОСТ 12.1.044-89, – для химических органических продуктов и на приборе Бренкена по методике, изложенной в том же стандарте, – для нефтепродуктов и масел.

Для определения температуры вспышки заданную массу жидкости (вещества) нагревают с заданной скоростью, периодически зажигая выделяющиеся пары и визуально оценивая результаты зажигания.

Ориентировочно расчет температуры вспышки производится по правилу Орманда и Гровена:

$$T_{\text{всп}} = T_{\text{кип}} \cdot m, \quad (4.1)$$

где $T_{\text{всп}}$ – температура вспышки, К; $T_{\text{кип}}$ – температура кипения, К; m – коэффициент, равный 0,736.

Температура кипения некоторых жидкостей, которые используются в лабораторной работе для определения температуры вспышки, дана в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Температура кипения жидкостей

Наименование жидкости	Температура кипения, °С
Скипидар:	
живичный	153–180
экстракционный	150–220
сухоперегонный ретортный очищенный	150–225
Дизельное топливо	270–400
Керосин	150–300
Топливо для реактивных двигателей	150–225
Масла:	
трансформаторное	385–450
веретенное	380–480
автомобильное	390–460
индустриальное	350–390
вазелиновое	400–480
масло ПН-6	350–500

Пример. Рассчитать температуру вспышки керосина. Температура кипения керосина составляет 150°С.

$$(T_{\text{кип}} = 273 + 150 = 423 \text{ К}).$$

$$T_{\text{всп}} = 423 \cdot 0,736 = 311 \text{ К, или } T_{\text{всп}} = 311 - 273 = 38^\circ\text{С}.$$

Более точно температуру вспышки $T_{\text{всп}}$, К, рассчитывают по следующей формуле:

$$T_{\text{всп}} = \frac{A}{P_{\text{всп}}} D_0 \cdot \beta, \quad (4.2)$$

где A – константа метода определения (рекомендуется при расчете температуры вспышки в закрытом тигле принимать $A = 3000$; в открытом тигле $A = 3400$); $P_{\text{всп}}$ – парциальное давление пара горючего вещества при температуре вспышки, Па; D_0 – коэффициент диффузии паров в воздухе при 0°C и 101 кПа; β – стехиометрический коэффициент, равный числу молей кислорода, приходящихся на 1 моль горючего вещества при его полном сгорании.

Температуру вспышки жидкостей в закрытом тигле $T_{\text{всп}}$, $^\circ\text{C}$, имеющих нижеперечисленные виды связей (табл. 4.3), вычисляют по формуле

$$T_{\text{всп}} = a_0 + a_1 \cdot T_{\text{кип}} + \sum_{i=2}^n a_j \cdot l_j, \quad (4.3)$$

где a_0 – размерный коэффициент, равный $-73,14^\circ\text{C}$; a_1 – безразмерный коэффициент, равный $0,659$; $T_{\text{кип}}$ – температура кипения исследуемой жидкости, $^\circ\text{C}$; a_j – эмпирические коэффициенты, приведены в табл. 4.3; l_j – количество связей вида j в молекуле исследуемой жидкости.

Средняя квадратическая погрешность расчета δ по формуле (4.3) составляет 13°C .

Таблица 4.3

Эмпирические коэффициенты a_j

Вид связи	$a_j, ^\circ\text{C}$	Вид связи	$a_j, ^\circ\text{C}$
C – C	–2,03	C – Cl	15,11
C – C	–0,28	C – Br	19,40
C = C	1,72	C – Si	–4,84
C – H	1,105	Si – H	11,00
C – O	2,47	Si – Cl	10,07
C = O	11,66	N – H	5,83
C – N	14,15	O – H	23,90
C \equiv N	12,13	S – H	5,64
C – S	12,09	P – O	3,27
C = S	–11,91	P = O	9,64
C – F	3,33		

Для нижеперечисленных классов веществ температуру вспышки вычисляют по формуле

$$T_{\text{всп}} = a + b \cdot T_{\text{кип}}, \quad (4.4)$$

где a , b – эмпирические коэффициенты, приведенные в табл. 4.4 вместе со средними погрешностями расчета δ .

Таблица 4.4

Эмпирические коэффициенты a и b

Класс вещества	Коэффициенты		δ , °C
	a , °C	b	
Алканы	–73,22	0,693	1,5
Спирты	–41,69	0,652	1,4
Алкиланилины	–21,94	0,533	2,0
Карбоновые кислоты	–43,57	0,708	2,2
Алкилфенолы	–38,42	0,623	1,4
Ароматические углеводороды	–67,83	0,665	3,0
Альдегиды	–74,76	0,813	1,5
Бромалканы	–49,56	0,665	2,2
Кетоны	–52,69	0,643	1,9
Хлоралканы	–55,70	0,631	1,7

Определение категорий помещений, пожарных отсеков, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности осуществляется в соответствии с НПБ 5-2005 «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» в зависимости от количества и взрывопожароопасных свойств находящихся (обращающихся) в них веществ и материалов с учетом особенностей технологических процессов размещенных в них производств.

Категории помещений, зданий и наружных установок применяются для установления нормативных требований по обеспечению взрывопожарной и пожарной безопасности указанных помещений, зданий и наружных установок в отношении планировки застройки, этажности и площадей пожарных отсеков, размещения помещений, обеспечения эвакуации людей, конструктивных решений, инженерного оборудования. Мероприятия по обеспечению безопасности людей разрабатываются в зависимости от пожаровзрывоопасных свойств и количества веществ и материалов.

По взрывопожарной и пожарной опасности *помещения* подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г1, Г2, Д, а *здания* – на категории А, Б, В, Г и Д.

Категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий определяются для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода, исходя из вида находящихся в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, особенностей технологических процессов.

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности принимаются в соответствии с табл. 4.5.

Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки их принадлежности к категориям, приведенным в табл. 4.5, от высшей (А) к низшей (Д).

Таблица 4.5

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
1	2
А (взрывопожароопасная)	Горючие газы (далее – ГГ), легковоспламеняющиеся жидкости (далее – ЛВЖ) с температурой вспышки не более 28°С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б (взрывопожароопасная)	Горючие пыли или волокна, ЛВЖ с температурой вспышки более 28°С, горючие жидкости (далее – ГЖ) в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1–В4 (пожароопасные)	ЛВЖ, ГЖ и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом взрываться и гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б
Г1	ГГ, ЛВЖ, ГЖ, твердые горючие вещества и материалы, используемые в качестве топлива

1	2
Г2	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии, горючие вещества и материалы в таком количестве, что удельная пожарная нагрузка на участке их размещения в помещении не превышает 100 МДж/м ²

Определение пожароопасной категории помещения В1–В4 осуществляется путем сравнения максимального значения пожарной нагрузки на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Определение пожароопасной категории помещения В1–В4

Категория помещения	Удельная пожарная нагрузка g на участке, МДж/м ²
В1	Более 2200
В2	1401–2200
В3	201–1400
В4	100–200

При пожарной нагрузке, включающей в себя различные сочетания (смесь) горючих и трудногорючих веществ и материалов в пределах пожароопасного участка, пожарная нагрузка Q , МДж, определяется из соотношения

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_{H_i}^P, \quad (4.5)$$

где G_i – количество i -го материала пожарной нагрузки, кг; $Q_{H_i}^P$ – низшая теплота сгорания i -го материала пожарной нагрузки, МДж/кг.

Удельная пожарная нагрузка g , МДж/м², определяется из соотношения

$$g = \frac{Q}{S}, \quad (4.6)$$

где S – площадь размещения пожарной нагрузки, м², определяется как ее линейная проекция на пол в пределах пожарного участка (но не менее 10 м² и не более площади помещения).

При наличии в технологическом оборудовании ГЖ площадь размещения пожарной нагрузки определяется с учетом следующих предпосылок: в процессе аварии все содержимое аппарата поступает в помещение; под площадью размещения пожарной нагрузки понимается площадь разлива ГЖ, ограниченная бортиками, поддонами, сливными емкостями и др.

Количество поступивших в помещение веществ, которые могут образовывать взрывоопасные воздушные или паровоздушные смеси, определяется исходя из следующих предпосылок:

- а) происходит расчетная авария одного из аппаратов;
- б) все содержимое аппарата поступает в помещение;
- в) происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат по прямому и обратному потоку в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов.

Расчетное время отключения трубопроводов определяется в каждом конкретном случае, исходя из реальной обстановки, и должно быть минимальным с учетом паспортных данных на запорное устройство, характера технологического процесса и вида расчетной аварии.

Расчетное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

- времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000 001 в год или обеспечено резервирование ее элементов;
- 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000 001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов;
- 300 с при ручном отключении.

Не допускается использование технических средств для отключения трубопроводов, время отключения которых превышает приведенные выше значения.

Под *временем срабатывания* и *временем отключения* следует принимать промежуток времени от начала возможного поступления горючего вещества из трубопровода (перфорация, разрыв, изменение номинального давления и т. п.) до полного прекращения поступления газа или жидкости в помещение. Быстродействующие клапаны-отсекатели должны автоматически перекрывать подачу газа или жидкости при нарушении электроснабжения. В исключительных случаях в установленном порядке допускается превышение приведенных выше значений времени отключения трубопроводов;

- г) происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости; площадь испарения при разливе на пол определяется (при отсутствии

справочных данных) исходя из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70% и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,5 м², а остальных жидкостей – на 1 м² пола помещения;

д) происходит также испарение жидкости из емкости, эксплуатируемой с открытым зеркалом жидкости, и со свежеекрашенных поверхностей;

е) длительность испарения жидкости принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с.

Количество пыли, которое может образовать взрывоопасную смесь, определяется из следующих предпосылок:

а) расчетной аварии предшествовало пыленакопление в производственном помещении, происходящее в условиях нормального режима работы (например, вследствие пылевыведения из негерметичного производственного оборудования);

б) в момент расчетной аварии произошла плановая (ремонтные работы) или внезапная разгерметизация одного из технологических аппаратов, за которой последовал аварийный выброс в помещение всей находившейся в аппарате пыли.

Свободный объем помещения определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием. Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать условно равным 80% геометрического объема помещения.

Избыточное давление взрыва ΔP для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) = \frac{m \cdot Z}{V_{\text{св}} \cdot \rho_{\text{г,п}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (4.7)$$

где P_{\max} – максимальное давление взрыва стехиометрической газовой или паровоздушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным. При отсутствии данных допускается принимать P_{\max} равным 900 кПа; P_0 – начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа); m – масса ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, вышедших в результате расчетной аварии в помещение, вычисляется для ГГ по формуле (4.8), а для паров ЛВЖ и ГЖ – по формуле (4.13), кг; Z – коэффициент участия горючего во взрыве, рассчитанный на основе характера распределения газов и паров в объеме помещения, определяется по табл. 4.7; $V_{\text{св}}$ – свободный объем помещения, м³; $\rho_{\text{г,п}}$ – плотность газа или пара при расчетной температуре $T_{\text{р}}$, кг/м³, вычисляется

по формуле (4.14); $C_{ст}$ – стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, % (об.), вычисляемая по формуле (4.15); K_n – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и недиабатичность процесса горения. Допускается принимать K_n равным 3.

Таблица 4.7

Коэффициент участия горючего во взрыве

Вид горючего вещества	Значение Z
Водород	1
ГГ (кроме водорода)	0,5
ЛВЖ и ГЖ, нагретые до температуры вспышки и выше	0,3
ЛВЖ и ГЖ, нагретые ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля	0,3
ЛВЖ и ГЖ, нагретые ниже температуры вспышки, при отсутствии возможности образования аэрозоля	0

Масса m , кг, поступившего в помещение при расчетной аварии газа определяется по формуле

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho_g, \quad (4.8)$$

где V_a – объем газа, вышедшего из аппарата, m^3 ; V_T – объем газа, вышедшего из трубопроводов, m^3 .

При этом

$$V_a = 0,01 \cdot P_1 \cdot V, \quad (4.9)$$

где P_1 – давление в аппарате, кПа; V – объем аппарата, m^3 .

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}, \quad (4.10)$$

где V_{1T} – объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, m^3 ; V_{2T} – объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения, m^3 .

$$V_{1T} = q \cdot t_1, \quad (4.11)$$

где q – расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и других параметров, m^3/c ; t_1 – расчетное время отключения трубопровода, с.

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_2 (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2 + \dots + r_n^2 \cdot L_n), \quad (4.12)$$

где P_2 – максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту, кПа; r – внутренний радиус трубопроводов, м; L – длина трубопроводов от аварийного аппарата до задвижек, м.

Масса паров жидкости m , поступивших в помещение, определяется по формуле

$$m = W \cdot F_{\text{и}} \cdot t, \quad (4.13)$$

где W – интенсивность испарения, кг/с · м² (определяется по справочным и экспериментальным данным); $F_{\text{и}}$ – площадь испарения, м²; t – время испарения, с.

$$\rho_{\text{г,п}} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot T_{\text{р}})}, \quad (4.14)$$

где M – молярная масса, кг/кмоль; V_0 – молярный объем, равный 22,413 м³/кмоль; $T_{\text{р}}$ – расчетная температура, °С. В качестве расчетной температуры следует принимать максимально возможную температуру воздуха в данном помещении в соответствующей климатической зоне или максимально возможную температуру воздуха по технологическому регламенту с учетом возможного повышения температуры в аварийной ситуации. Если такого значения расчетной температуры $T_{\text{р}}$ по каким-либо причинам определить не удастся, допускается принимать ее равной 61°С.

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}, \quad (4.15)$$

где $\beta = n_{\text{с}} + \frac{n_{\text{н}} - n_{\text{х}}}{4} - \frac{n_{\text{о}}}{2}$ – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания; $n_{\text{с}}$, $n_{\text{н}}$, $n_{\text{о}}$, $n_{\text{х}}$ – число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего вещества.

Расчет ΔP для веществ, кроме упомянутых в формуле (4.7), а также для смесей может быть выполнен по формуле

$$\Delta P = \frac{m \cdot H \cdot P_0 \cdot Z}{V_{\text{св}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (4.16)$$

где H – теплота сгорания, Дж/кг; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха до взрыва при начальной температуре T_0 , кг/м³; $C_{\text{в}}$ – теплоемкость воздуха, Дж/кг · К (допускается принимать равной $1,01 \cdot 10^3$ Дж/кг · К); T_0 – начальная температура воздуха, К.

После определения категории помещений (участков) можно оценить категорию всего здания по взрывопожарной и пожарной опасности.

Здание относится к категории А, если в нем суммарная площадь помещений категории А превышает 5% площади всех помещений или 200 м². Допускается не относить здание к категории А, если суммарная площадь помещений категории А в здании не превышает 25% суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м²) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Б, если одновременно выполнены два условия: здание не относится к категории А; суммарная площадь помещений категорий А и Б превышает 5% суммарной площади всех помещений или 200 м². Допускается не относить здание к категории Б, если суммарная площадь помещений категорий А и Б в здании не превышает 25% суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м²) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории В, если одновременно выполнены два условия: здание не относится к категориям А или Б; суммарная площадь помещений категорий А, Б и В1–В3 превышает 5% (10%, если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б) суммарной площади всех помещений. Допускается не относить здание к категории В, если суммарная площадь помещений категорий А, Б и В1–В3 в здании не превышает 25% суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 3500 м²) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Г, если одновременно выполнены два условия: здание не относится к категориям А, Б или В; суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1–В3 и Г1–Г2 превышает 5% суммарной площади всех помещений. Допускается не относить здание к категории Г, если суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1–В3 и Г1–Г2 в здании не превышает 25% суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 5000 м²) и помещения категорий А, Б, В1–В3 оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Д, если оно не относится к категориям А, Б, В или Г.

Некоторые справочные данные по конструктивному оформлению производственных зданий в зависимости от категоричности помещений приведены в табл. 4.8–4.10.

Таблица 4.8

Расстояние до эвакуационных выходов в производственных зданиях

Класс здания по функциональной пожарной опасности	Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности	Степень огнестойкости здания	Расстояние по коридору, м, до выхода наружу или в ближайшую лестничную клетку при плотности людского потока в коридоре, чел./м ² (при расположении выхода между двумя лестничными клетками / при выходе в тупиковый коридор)				
			до 2	св. 2 до 3	св. 3 до 4	св. 4 до 5	св. 5
1	2	3	4	5	6	7	8
Ф 5.4 (административные и бытовые здания предприятий)	Не имеет категории	I	60 / 30	55 / 27	45 / 22	35 / 17	—
		II, III	55 / 27	50 / 25	40 / 20	30 / 15	—
		IV	50 / 25	45 / 22	35 / 17	25 / 12	—
		V, VI	40 / 20	35 / 17	30 / 15	25 / 12	—
		VII	35 / 17	30 / 15	25 / 12	20 / 10	—
		VIII	30 / 15	25 / 12	20 / 10	15 / 7	—
Ф 5 (производственные и складские здания, сооружения и помещения, кроме Ф 5.4)	А, Б	I	60 / 30	50 / 25	40 / 20	35 / 17	—
		II, III	60 / 30	50 / 25	40 / 20	35 / 17	—
		IV	55 / 27	45 / 22	35 / 17	30 / 15	—
		V, VI	50 / 25	40 / 20	30 / 15	25 / 10	—
	В1	I	100 / 30	85 / 25	65 / 20	60 / 15	—
		II, III	90 / 30	80 / 25	60 / 20	55 / 15	—
		IV	80 / 25	70 / 22	55 / 17	50 / 12	—
		V, VI	70 / 22	60 / 20	50 / 15	45 / 10	—
		VII	60 / 20	50 / 15	45 / 12	40 / 10	—
		VIII	50 / 15	45 / 10	40 / 10	35 / 8	—
	В2	I	110 / 30	90 / 25	70 / 20	62 / 15	—
		II, III	100 / 30	95 / 25	65 / 20	57 / 15	—
		IV	90 / 25	80 / 22	60 / 17	52 / 12	—
		V, VI	80 / 22	70 / 20	55 / 15	47 / 10	—
		VII	70 / 20	60 / 15	50 / 12	42 / 10	—
		VIII	55 / 15	50 / 10	40 / 10	35 / 8	—
	В3, В4	I	120 / 30	95 / 25	80 / 20	65 / 15	—
		II, III	110 / 30	90 / 25	75 / 20	60 / 15	—
		IV	100 / 25	85 / 22	70 / 17	55 / 12	—
		V, VI	90 / 22	75 / 20	60 / 15	50 / 10	—
		VII	80 / 20	65 / 15	55 / 12	45 / 10	—
		VIII	60 / 15	50 / 10	45 / 10	35 / 8	—

Окончание табл. 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8
	Г1, Г2, Д	I	180 / 60	140 / 50	120 / 40	100 / 30	—
		II, III	170 / 55	130 / 50	110 / 40	90 / 30	—
		IV	160 / 50	120 / 45	100 / 35	80 / 25	—
		V, VI	140 / 40	100 / 35	80 / 25	60 / 20	—
		VII	125 / 30	100 / 25	85 / 20	70 / 15	—
		VIII	90 / 20	70 / 15	60 / 15	50 / 10	—

Примечания:

1. Плотность людского потока определяется как отношение количества людей, эвакуирующихся из помещений в коридор, к площади этого коридора, чел./м².

2. При размещении на одном этаже помещений различных категорий расстояние по коридору от двери наиболее удаленного помещения до эвакуационного выхода определяется по более опасной категории.

3. Знак « — » означает отсутствие нормативных требований ввиду недопустимости в зданиях класса Ф5 людских потоков плотностью свыше 5 чел./м²

Таблица 4.9

**Предельно допустимая площадь этажа в производственных зданиях
в зависимости от степени огнестойкости, этажности
и категории по взрывопожарной и пожарной опасности**

Категория зданий	Этажность	Площадь этажа, м ² , для степени огнестойкости зданий						
		II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	6	4 400	4 000	3 500	—	—	—	—
	5	4 800	4 400	4 000				
	4	5 200	4 800	4 400				
	3	5 600	5 200	4 800				
	2	6 000	5 600	5 200	3 500			
	1	Н.Н.	Н.Н.	Н.Н.	5 200	3 500		
Б	6	8 600	8 200	7 800				
	5	9 200	8 800	8 400				
	4	9 800	9 400	9 000				
	3	10 400	10 000	9 600				
	2	11 200	10 800	10 400	3 500			
	1	Н.Н.	Н.Н.	Н.Н.	5 200	3 500		
В	8	14 000	12 000	10 400				
	7	16 000	14 400	12 800				
	6	18 000	16 800	15 200				
	5	20 000	19 200	17 600				

Окончание табл. 4.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
В	4	22 000	21 600	20 000	5 200			
	3	25 000	24 000	22 400	8 000	800		
	2	30 000	26 600	25 000	10 400	2 000	2 000	600
	1	Н.Н.	Н.Н.	Н.Н.	25 000	10 400	2 600	1 200
Г	10	Н.Н.	Н.Н.					
	9	Н.Н.	Н.Н.					
	8	Н.Н.	Н.Н.					
	7	Н.Н.	Н.Н.					
	6	Н.Н.	Н.Н.	10 400				
	5	Н.Н.	Н.Н.	14 000	7 800			
	4	Н.Н.	Н.Н.	18 000	8 000	5 200		
	3	Н.Н.	Н.Н.	22 000	9 000	7 500	5 200 ¹	
	2	Н.Н.	Н.Н.	25 000	10 400	10 400	6 000	5 200
	1	Н.Н.	Н.Н.	Н.Н.	Н.Н.	Н.Н.	25000	10 400
Д	10	Н.Н.	Н.Н.					
	9	Н.Н.	Н.Н.					
	8	Н.Н.	Н.Н.					
	7	Н.Н.	Н.Н.					
	6	Н.Н.	Н.Н.	15 000				
	5	Н.Н.	Н.Н.	20 000	10 400			
	4	Н.Н.	Н.Н.	30 000	15 000	7 800		
	3	Н.Н.	Н.Н.	40 000	20 000	15 000	2 600 ²	
	2	Н.Н.	Н.Н.	50 000	25 000	25 000	7 800	1 500
	1	Н.Н.	Н.Н.	Н.Н.	Н.Н.	Н.Н.	10 400	2 600

¹ При высоте здания не более 18 м.

² Н.Н. означает, что показатель не нормируется. Суммарная площадь этажей, соединенных незащищенными проемами в перекрытиях, не должна превышать площади этажа, указанной в таблице.

Таблица 4.10

Противопожарные разрывы между зданиями и сооружениями, м

Степень огнестойкости зданий или сооружений	Минимальные разрывы между зданиями и сооружениями в зависимости от степени их огнестойкости и категории по взрывопожарной и пожарной опасности по НПБ 5, м		
	I–IV	V, VI	VII, VIII
I–IV	Не нормируются для зданий и сооружений категорий Г и Д. 9 – для зданий и сооружений категорий А, Б и В	9	12
V, VI	9	12	15
VII, VIII	12	15	18

2. Экспериментальная часть

2.1. Меры безопасности при выполнении работы

1. Включение установки производить только с разрешения дежурного преподавателя.

2. При проведении испытания не допускается оставлять рабочее место без присмотра.

3. По окончании испытания: а) проконтролировать отключение электроэнергии, газа; б) привести рабочее место в порядок.

Перед началом работы необходимо выяснить у преподавателя, с помощью какого прибора будет выполняться работа!

2.2. Определение температуры вспышки в закрытом тигле

Температуру вспышки жидкостей в закрытом тигле можно определять на установках ПВНЭ и ПТВ-1.

2.2.1. Описание установки ПВНЭ

Принципиальная схема установки ПВНЭ для определения температуры вспышки жидкостей в закрытом тигле приведена на рис. 4.1.

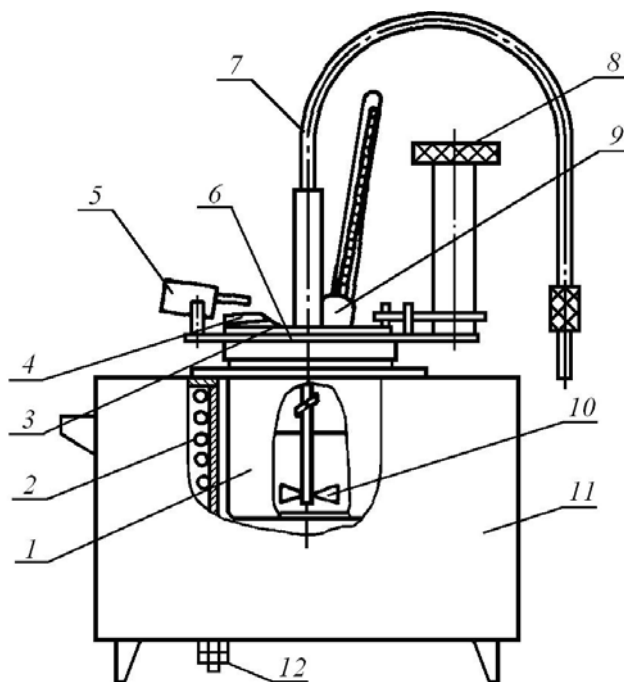


Рис. 4.1. Прибор ПВНЭ для определения температуры вспышки паров жидкости:

- 1 – латунный сосуд; 2 – электронагреватель; 3 – отверстие в крышке; 4 – зубец;
- 5 – зажигательное приспособление; 6 – крышка; 7 – гибкая передача;
- 8 – пружинный рычаг; 9 – отверстие для термометра; 10 – мешалка;
- 11 – нагревательная ванна; 12 – клемма для подключения заземления

Прибор ПВНЭ состоит из нагревательной ванны 11, латунного сосуда 1 для испытуемой жидкости, вставленного в ванну, зажигающего приспособления 5 и автотрансформатора. Нагревательная ванна представляет собой закрытый сосуд, обогреваемый электронагревателем 2. Внутри латунного сосуда имеется мешалка 10 с гибкой передачей 7. Сосуд плотно закрывается крышкой 6, имеющей отверстие для термометра 9. Отверстие для зажигания открывается при помощи пружинного рычага 8, который одновременно поворачивает горелку и направляет ее к середине отверстия в крышке 3, упирая зажигающее приспособление к зубцу 4. Снизу прибора имеется клемма 12 для подключения заземления.

2.2.2. Порядок выполнения работы

1. Уточнить у преподавателя наименование испытуемой жидкости.
2. Рассчитать температуру вспышки испытуемой жидкости по формуле (4.1).
3. Испытуемую жидкость налить в тигель до метки, не допуская смачивания стенок тигля выше указанной метки.
4. Охладить жидкость до температуры, которая не менее чем на 17°C ниже предполагаемой (расчетной) температуры вспышки.
5. Тигель закрыть крышкой, установить в нагревательную ванну и вставить термометр.
6. Зажечь газ в зажигающем приспособлении (*вместе с преподавателем!*). Для этого переключить клапан редуктора газового баллона в положение «Включено» (видна красная метка). Поднести пламя спички к соплу запальника газовой горелки и вентилем отрегулировать подачу газа так, чтобы форма пламени была близкой к шару диаметром 3–4 мм.
7. Перемешивание вести, обеспечивая частоту вращения мешалки от $1,5^{-1}$ до 2^{-1} с.
8. Испытания на вспышку проводить:
 - для продуктов с температурой вспышки до 50°C не более чем за 10°C до предполагаемой температуры;
 - свыше 50°C – не более чем за 17°C до предполагаемой температуры вспышки.

Испытания на вспышку проводить при повышении температуры на 1°C для продуктов с $T_{всп}$ до 104°C и на каждые 2°C для продуктов с температурой вспышки выше 104°C.

В момент испытания на вспышку перемешивание прекратить и привести в действие расположенный на крышке механизм 8, который

открывает заслонку и опускает пламя. Опустить пламя в паровое пространство за 0,5 с, оставить в самом нижнем положении на 1 с и поднять в верхнее положение.

За температуру вспышки каждого определения принимать показания термометра в момент четкого появления первого (синего для нефтепродуктов) пламени над поверхностью продукта внутри прибора. Появившаяся неясная вспышка должна быть подтверждена последующей вспышкой при повышении температуры на 1 или 2°C. Если при этом вспышка не наблюдается, испытания повторяют. Допускаемые расхождения между параллельными определениями не должны превышать значений, представленных в табл. 4.11.

9. Вычислить температуру вспышки с поправкой на стандартное барометрическое давление 101,3 кПа алгебраическим сложением найденной температуры и поправки, определенной по формуле

$$\Delta T = 0,27 \cdot (101,3 - P), \quad (4.17)$$

где P – фактическое атмосферное давление, кПа.

Таблица 4.11

Допускаемые расхождения между параллельными определениями

Температура вспышки, °С	Допускаемые расхождения, °С
Для нефтепродуктов	
До 104	2
Свыше 104	6
Для химических органических продуктов	
До 50	2
Свыше 50	3

10. Составить таблицу наблюдений по форме табл. 4.12.

Таблица 4.12

Таблица наблюдений

Номер опыта	Наименование жидкости	Показания термометра	Показания барометра	Температура вспышки, °С	
				экспериментальная	расчетная

11. На основании полученных результатов определить:

а) разряд опасности легковоспламеняющейся жидкости, а по заданному преподавателем расчетному избыточному давлению взрыва в помещении – категорию помещения, используя табл. 4.5;

б) используя табл. 4.8–4.10 основные требования к конструкции производственного здания и его расположению на генеральном плане:

этажность, степень огнестойкости здания, допустимую площадь этажа, расстояние от рабочего места до эвакуационного выхода, минимальное расстояние от производственного здания до других объектов (все недостающие данные принять самостоятельно).

2.2.3. Описание установки ПТВ-1

Для экспресс-определения температуры вспышки в закрытом тигле применяется прибор ПТВ-1 (рис. 4.2). Он состоит из блока питания *1* и блока вспышки *8* (оба блока смонтированы в одном корпусе). На передней панели размещены: тумблер основного питания *2*, тумблер дополнительного питания *6*, тумблер переключения диапазона измеряемых температур *5*, переключатель регулирования скорости подъема температуры *3*, кнопка включения нагрева спирали воспламенителя *4*, измерительный двухшкальный прибор – термометр *7*.

Блок вспышки представляет собой цилиндр, в котором размещены нагреватели, датчики и резисторы мостовой схемы питания измерительного прибора. В верхней части блока питания под съемной крышкой со смотровым стеклом установлены тигель *9* и воспламенитель *10*.

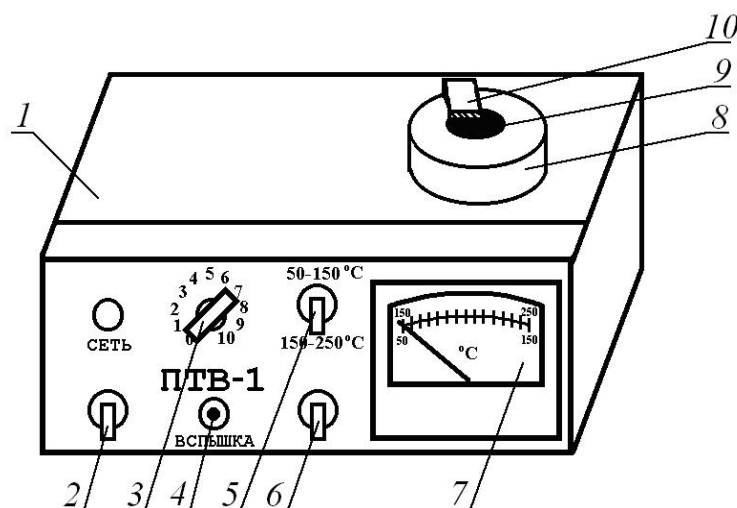


Рис. 4.2. Прибор ПТВ-1 для определения температуры вспышки:
1 – блок питания; *2* – тумблер основного питания; *3* – переключатель регулирования скорости подъема температуры; *4* – кнопка включения нагрева спирали воспламенителя; *5* – тумблер переключения диапазона измеряемых температур; *6* – тумблер дополнительного питания; *7* – термометр; *8* – блок вспышки; *9* – тигель; *10* – воспламенитель

Нагрев пробы производится электрическим нагревателем. Температура пробы в тигле, при которой происходит воспламенение паров,

принимается за температуру вспышки. Воспламенение происходит при контакте паров с раскаленной спиралью воспламенителя.

2.2.4. Порядок выполнения работы

При определении температуры вспышки масел и топлива целесообразно измерения начинать с определения температуры вспышки масел с целью равномерного прогрева блока.

а) Определение температуры вспышки горючих жидкостей (масел):

1. Снять с блока вспышки крышку: вынуть воспламенитель и тигель, проверить крепление спирали воспламенителя и установить его на место. Включить прибор тумблером «Сеть».

2. Кратковременно, в течение 5 с, при нажатой кнопке проверить степень нагрева спирали (спираль должна накаливаться до ярко-красного цвета).

3. Снять воспламенитель, закрыть блок вспышки крышкой. Поставить тумблер диапазона измерения температур в положение 50–150°C, переключатель скорости подъема температуры – в положение 6 и включить дополнительный нагрев.

4. При достижении температуры 140°C тумблер диапазона измерения температур переключить в положение 150–250°C.

5. Пока идет прогрев установки, заполнить тигель с меткой «М» исследуемым маслом до уровня верхней кромки стержня или кольцевой канавки (в зависимости от конструкции тигля).

6. После нагрева прибора до температуры 150–170°C переключатель скорости подъема температуры поставить в нулевое положение.

7. Снять с блока крышку, установить тигель с исследуемым маслом, вставить воспламенитель (спираль воспламенителя должна быть ниже края тигля на 0,2–0,4 мм), закрыть блок крышкой.

8. Поставить тумблер скорости подъема температуры в положение 6, включить дополнительный нагрев. Следить за повышением температуры по верхней шкале измерительного прибора. За 20–30°C до предполагаемой температуры вспышки выключить дополнительный нагрев.

9. Переключатель скорости подъема температуры установить в положение, обеспечивающее скорость нарастания температуры не более 2°C в минуту. За 10–15°C до предполагаемой вспышки кратковременно, в течение 5 с, нажать кнопку вспышки. Включать кнопку через каждые 2°C до появления вспышки, наблюдать ее визуально через смотровое стекло крышки блока.

Показание измерительного прибора в момент вспышки соответствует температуре вспышки масла.

10. Повторное определение проводить после охлаждения блока на 20–30°C. Расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать 6°C. За температуру вспышки принимается среднее значение двух определений.

б) Определение температуры вспышки топлива:

1. Если до определения температуры вспышки топлива испытывались масла, необходимо охладить блок до 50°C. Если испытания масел не проводились, необходимо прогреть установку до 100–120°C, сняв предварительно тигель и воспламенитель. Охладить блок до 50°C.

2. Нагревание установки проводить, установив переключатель скорости подъема температуры в положение 5. Дополнительный нагрев не включать.

3. Пока идет нагревание установки, заполнить тигель с меткой «1» исследуемым топливом до верхней кромки стержня или кольцевой канавки (в зависимости от конструкции тигля).

4. Установить заполненный тигель и воспламенитель в блок. Спираль воспламенителя должна находиться ниже верхнего края тигля на 0,2–0,4 мм. Закрыть блок крышкой.

5. Переключатель скорости подъема температуры установить в положение, обеспечивающее нарастание температуры 2°C в минуту.

6. За 10°C до предполагаемой вспышки кратковременно, в течение 5 с, нажать кнопку воспламенителя. Включение кнопки повторять через каждые 2°C до появления вспышки, наблюдая за ней через смотровое стекло крышки блока. В момент появления вспышки зафиксировать температуру по измерительному прибору.

7. Выключить прибор, снять тигель пинцетом и насухо протереть его.

8. Произвести повторные определения, предварительно охладив прибор до 50°C. Расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать 4°C. За температуру вспышки принимается среднее значение двух определений.

Результаты измерений занести в табл. 4.12.

2.3. Определение температуры вспышки и воспламенения в открытом тигле

2.3.1. Описание установки ЛТВО

Принципиальная схема стандартного прибора ЛТВО открытого типа представлена на рис. 4.3.

Прибор открытого типа состоит из тигля внутреннего 2, предназначенного для наполнения испытуемым нефтепродуктом; тигля наружного 3 (песчаной бани); штатива 5 с зажимом для термометра и с кольцом для тигля; термометра 1, служащего для замера температуры вспышки и воспламенения; зажигательного приспособления (спиртовки) 4.

2.3.2. Порядок выполнения работы

1. Промыть внутренний тигель бензином, эфиром, просушить его и поставить в песчаную баню с прокаленным песком так, чтобы песок окружал тигель на высоте 12 мм от верхнего края.

Слой песка между дном внутреннего тигля и дном песчаной бани должен быть толщиной 5–8 мм.

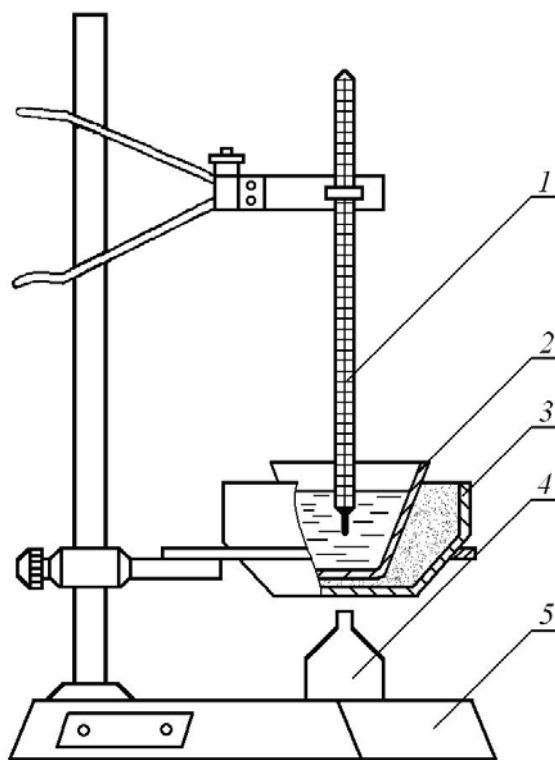


Рис. 4.3. Прибор для определения температуры вспышки и воспламенения ЛТВО:

1 – термометр; 2, 3 – внутренний и наружный тигли;
4 – спиртовка; 5 – штатив

2. Установить прибор в таком месте, где нет заметного движения воздуха, свет затемнен и хорошо видно воспламенение жидкости.

3. Влить во внутренний тигель испытуемую жидкость в таком количестве, чтобы уровень ее не доходил до края тигля на 12 мм для

жидкостей с температурой вспышки до 210°C и на 18 мм – для жидкостей с более высокой температурой вспышки. Правильный налив жидкости в тигель проверяют шаблоном.

При наливании не допускается разбрызгивание жидкости и смачивание стенок внутреннего тигля выше уровня жидкости.

4. Установить термометр в строго вертикальном положении так, чтобы ртутный шарик находился в центре налитого объема жидкости.

5. Песчаную баню нагревать пламенем спиртовки так, чтобы температура испытуемой жидкости поднималась со скоростью 4°C в минуту.

6. За 10°C до ожидаемой температуры вспышки провести пламенем зажигательного приспособления по краю тигля на расстоянии 10–14 мм параллельно поверхности испытуемой жидкости в течение 2–3 с.

7. По мере подъема температуры жидкости испытания повторять через каждые 2°C. За температуру вспышки принимают температуру, показываемую термометром при появлении первого сиреневого пламени над частью или над всей поверхностью испытуемой жидкости.

Результаты испытаний проверить не менее 2 раз.

8. Составить таблицу наблюдений по форме табл. 4.13.

Таблица 4.13

Результаты наблюдений

Номер опыта	Наименование жидкости	Показания термометра, °C	Результаты испытаний
-------------	-----------------------	--------------------------	----------------------

Расхождения между двумя параллельными определениями температуры вспышки не должны превышать величин, приведенных в табл. 4.14.

Таблица 4.14

Допускаемые расхождения в значениях температуры вспышки

Температура вспышки, °C	Допускаемые расхождения, °C
До 150	4
Выше 150	6

На этом же приборе можно определить и температуру воспламенения жидкости. Для этого после определения температуры вспышки образец нагревают в том же режиме. Испытание воспламенения жидкости проводить через каждые 2°C повышения температуры.

За температуру воспламенения принимают температуру испытания, при которой образующиеся над поверхностью жидкости пары

воспламеняются от пламени зажигательного приспособления и продолжают гореть не менее 5 с после его удаления.

2.3.3. Описание установки ТВО

Прибор ТВО для определения температуры вспышки и воспламенения в открытом тигле состоит из основания 1, на котором смонтированы блок управления 2 и термоблок 16 (рис. 4.4).

На лицевой стороне панели блока управления установлены сигнальные лампы «Сеть», «Нагрев», ручки регулирования подачи газа, тумблер включения и выключения нагрева. Лампа «Сеть» загорается при включении тумблера в верхнее положение. Скорость нагрева исследуемой жидкости в тигле регулируется ручкой регулировки нагрева 3. Ручки «Газ», «Фитиль», «Запальник» служат соответственно для открытия (при повороте против часовой стрелки) или закрытия (при повороте по часовой стрелке) газа, регулировки величины пламени газового устройства и величины пламени запальников.

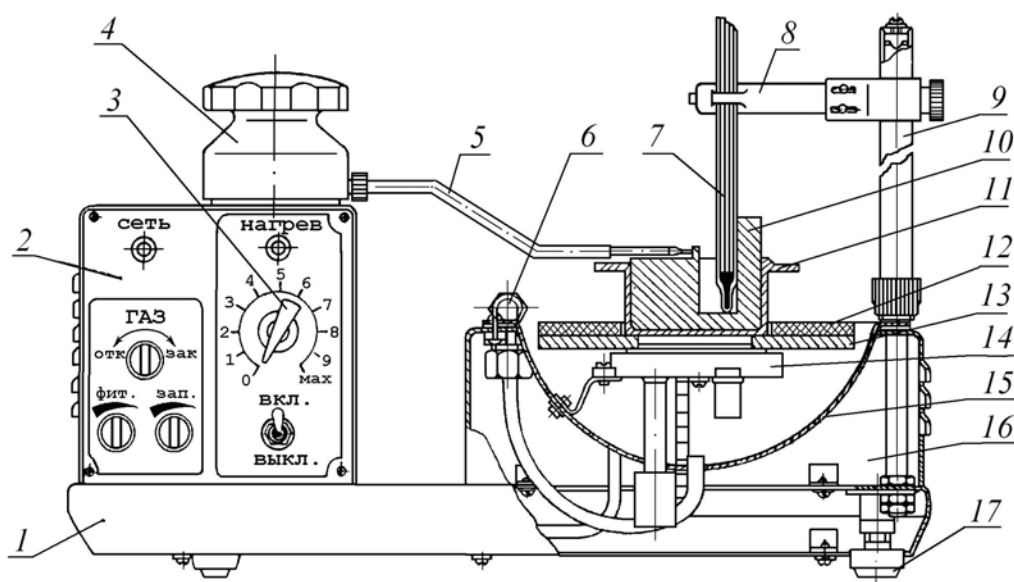


Рис. 4.4. Прибор ТВО для определения температуры вспышки воспламенения в открытом тигле:

- 1 – основание; 2 – блок управления; 3 – ручка регулировки нагрева;
- 4 – рукоятка поворота; 5 – газовое устройство; 6 – штуцер;
- 7 – термометр; 8 – зажим; 9 – стойка; 10 – шаблон; 11 – тигель;
- 12 – асбестовая прокладка; 13 – нагревательная пластина;
- 14 – нагревательный элемент; 15 – отражатель;
- 16 – термоблок; 17 – регулировочные ножки

В верхней части блока управления установлена рукоятка поворота 4, которая позволяет подводить газовое устройство 5 к тиглю 11.

В корпус термоблока 16 вмонтирован отражатель 15 и нагревательный элемент 14, на который устанавливаются нагревательная пластина 13, асбестовая прокладка 12 и тигель 11.

К стойке 9 зажимом 8 крепится термометр 7. Шаблон 10 служит для установки уровня термометра в тигле и положения газового устройства. Штуцер 6 служит для подвода воздуха к тиглю для ускорения его охлаждения. Горизонтальность установки прибора проверяется по зеркалу жидкости в тигле и регулируется ножками 17.

2.3.4. Порядок выполнения работы

1. После предварительного расчета температуры вспышки для исследуемой жидкости определить скорость нагрева тигля в соответствии с Международным стандартом ИСО 2592-73. Для этого необходимо использовать график зависимости ориентировочного положения ручки регулятора нагрева от предполагаемой температуры вспышки (рис. 4.5).

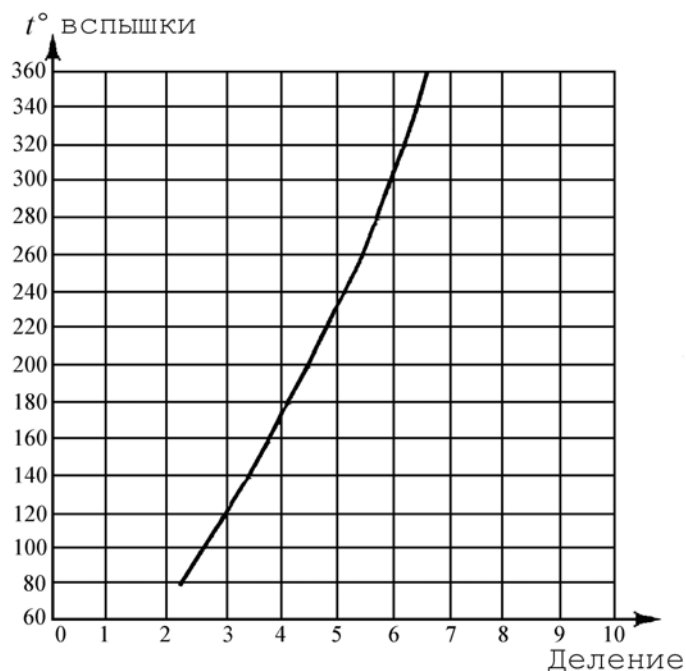


Рис. 4.5. График ориентировочного положения ручки регулятора нагрева в зависимости от предполагаемой температуры вспышки продукта при нормальном напряжении сети

2. Ознакомиться с устройством прибора ТВО.
3. Проверить наличие заземления прибора и герметичность газового штуцера.
4. Залить исследуемую жидкость в тигель 11 до риски и установить его на нагревательную пластину 13. Подвижную часть стойки 9 с термометром 7 вернуть в рабочее положение.

5. Проверить горизонтальность уровня исследуемой жидкости по риску внутри тигля. При необходимости отрегулировать его с помощью ножек 17.

6. Подключить прибор к электросети. Тумблер поставить в положение «Вкл.». Ручку 3 регулировки нагрева поставить в положение 1–9 в соответствии с графиком (рис. 4.5) или по заданию преподавателя.

7. Повернуть ручки газовых вентилей «Газ», «Фитиль» и «Запальник» до упора по часовой стрелке в положение «Закрит».

8. Поднести открытое пламя к запальникам. Отрегулировать величину пламени запальников на длину 6–8 мм поворотом ручки «Запальник» против часовой стрелки. Рукояткой поворота 4 подвести сопло зажигательного устройства к любому запальнику. Повернуть ручку «Фитиль» против часовой стрелки. Отрегулировать пламя фитиля так, чтобы оно по форме было близко к шарiku диаметром 3–4 мм.

9. По мере нагрева исследуемой жидкости, через каждые 5–10°C, проводить пламя фитиля над тиглем. При появлении вспышки отвести пламя фитиля от тигля и тумблером отключить нагрев.

10. Охладить тигель путем обдува термоблока воздухом от воздуходувки через штуцер 6 до температуры на 20°C ниже расчетной температуры вспышки и произвести повторное определение. Расхождение между двумя повторными определениями не должно превышать 4–6°C в соответствии с табл. 4.14. За температуру вспышки принимается среднее значение двух определений. Результаты измерений занести в табл. 4.12.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение агрегатного состояния веществ и материалов (газы, жидкости, пыли, твердые вещества) с точки зрения их пожаровзрывоопасности.

2. Что такое пожаровзрывобезопасность веществ и материалов?

3. Приведите основные пожаровзрывоопасные показатели веществ и материалов. Дайте их определения.

4. Опишите механизм горения жидкостей.

5. Что такое нижние и верхние концентрационные и температурные пределы распространения пламени?

6. Дайте определение температуры вспышки и воспламенения.

7. Как подразделяются жидкости в зависимости от температуры вспышки?

8. Как можно рассчитать температуру вспышки жидкости?
9. Как производится категорирование помещений по взрывопожарной и пожарной опасности?
10. Дайте определение категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.
11. Как произвести обоснование категорий помещения В1–В4 по удельной пожарной нагрузке?
12. Как определить расчетное избыточное давление взрыва горючих газов и паров жидкости?
13. Как определить категорию всего здания по взрывопожарной и пожарной опасности?

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. – Введ. 01.01.91. – М.: Гос. ком. по стандартам, 1991. – 156 с.
2. Нормы пожарной безопасности Республики Беларусь. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: НПБ 5-2005. – Введ. 01.07.06. – Минск: НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2005. – 52 с.
3. Здания и сооружения. Эвакуационные пути и выходы. Правила проектирования: ТКП 45-2.02-22-2006. – Введ. 01.07.06. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2006. – 52 с.
4. Здания и сооружения. Отсеки пожарные. Нормы проектирования: ТКП 45-2.02-34-2006. – Введ. 01.01.07. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2006. – 32 с.
5. Ограничение распространения пожара в зданиях и сооружениях. Объемно-планировочные и конструктивные решения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.02-92-2007. – Введ. 01.07.08. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2007. – 36 с.
6. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2 кн. / А. Н. Баратов [и др.]. – М.: Химия, 1990. – Кн. 1. – 496 с.; Кн. 2. – 384 с.

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК, ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

Цель работы: ознакомиться с назначением и классификацией вентиляционных систем методами расчета требуемого воздухообмена в зависимости от вида выделяющихся вредностей; изучить методики определения производительности вентиляционной установки и определения концентрации пыли в технологических газах; оценить эффективность работы очистного устройства.

Приборы и оборудование: лабораторная вентиляционная установка.

1. Общие положения

Производственная вентиляция – это комплекс взаимосвязанных устройств и процессов для создания требуемого воздухообмена в помещениях. В соответствии с СНБ 4.02.01-03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», **вентиляция** – обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ с целью обеспечения допустимых параметров микроклимата и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне.

По принципу действия и конструктивному оформлению системы вентиляции делятся на общеобменные, местные (локальные) и смешанные.

Конструктивно **общеобменная** вентиляция может быть выполнена как приточная, вытяжная или приточно-вытяжная.

В системе *приточной вентиляции* воздух подается в помещение организованно, повышая в нем давление, а уходит неорганизованно, вытесняясь через щели, проемы окон и дверей в соседние помещения или наружу.

При *вытяжной вентиляции* воздух организованно удаляется из помещения, в котором вследствие этого снижается давление. Взамен поступает воздух из соседних помещений и снаружи через открытые проемы окон и дверей или через щели.

В системе *приточно-вытяжной вентиляции* воздух организованно удаляется и подается в вентилируемое помещение, при этом в зависимости от того, чего больше: удаляемого или подаваемого воздуха, давление в помещении снижается или повышается.

Общеобменную вентиляцию устраивают в тех случаях, когда в производственное помещение попадают вредные выделения вследствие невозможности полной герметизации производственного оборудования, когда отсутствуют строго фиксированные источники вредных выделений или когда работа местных отсосов является недостаточно эффективной.

Общеобменная вентиляция обеспечивает создание средних значений метеорологических условий и снижение концентрации вредных веществ до допустимых значений во всем объеме производственного помещения. Общеобменные системы вентиляции, в которых воздух, подаваемый приточной вентиляцией, предварительно очищается, нагревается или охлаждается, увлажняется или осушается, называют **системами кондиционирования воздуха**.

Местная вентиляция предназначена для обеспечения санитарно-гигиенических условий труда непосредственно на рабочем месте, она может быть вытяжной и приточной.

Местная вытяжная вентиляция – система, при которой вытяжные устройства в виде зонтов, укрытий и других приспособлений размещаются непосредственно у мест выделения вредностей и предназначены для их улавливания и удаления. Это наиболее эффективный и дешевый способ, обеспечивающий удаление максимального количества вредностей при минимальном объеме удаляемого воздуха.

В системе **местной приточной вентиляции** подача приточного воздуха производится непосредственно в зону нахождения рабочего, т. е. требуемое качество воздушной среды обеспечивается только в этой зоне.

Система, в которой сочетаются элементы общеобменной и местной вентиляции, называется **смешанной системой вентиляции**. Такая система устраивается в тех случаях, когда удаление всех выделяющихся вредностей местными вытяжными устройствами произвести не удастся, поэтому, кроме местных отсосов, устраивается общая вытяжка, или в случае, когда вытяжная вентиляция выполняется как местная, а приточная – как общая.

Воздухообменом называется количество вентиляционного воздуха, необходимое для обеспечения соответствия санитарно-гигиенических условий труда требованиям СанПиН № 9-80 РБ 98, СНБ 4.02.01-03 и др. Необходимый воздухообмен является исходной величиной для расчета системы вентиляции (подбор вентиляционного оборудования, расчет сечения воздуховодов и т. д.).

При устройстве общеобменной вентиляции исходной величиной для определения воздухообмена является количество вредных выде-

лений в виде тепла, влаги, пыли, газов, которое обычно устанавливается на основании экспериментальных или расчетных данных.

Воздухообмен L , м³/ч, из условия разбавления вредных веществ (пыль, газы, пары) до допустимых концентраций определяется по формуле

$$L = \frac{G}{X_1 - X_2}, \quad (5.1)$$

где G – количество выделяющихся вредных веществ, мг/ч; X_1 и X_2 – соответственно предельно допустимая концентрация (ПДК) вредного вещества в воздухе рабочей зоны и концентрация этого же вещества в приточном воздухе, мг/м³ (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Предельно допустимые концентрации некоторых газов, паров и пыли в воздухе рабочей зоны

Вещества	ПДК, мг/м ³	Вещества	ПДК, мг/м ³
Аммиак	20	Сероводород	10
Ацетон	200	Сероуглерод	1
Бензин	300	Спирт бутиловый	10
Бензол	5	Фенол	0,3
Бор фтористый	1	Формальдегид	0,5
Бром	0,5	Фурфурол	10
Диметилформальдегид	10	Цинка окись	6
Диметиламин	1	Асбестовая пыль	2
Дихлорацетон	0,05	Алюминий и его сплавы	2
Дихлорэтан	10	Древесная пыль	6
Кислота серная	1	Известняк	6
Кислота соляная	5	Карбид кремния	6
Марганец	0,3	Магнезит	10
		Тальк	6

При выделении избыточной теплоты в помещении воздухообмен для поддержания нормальной температуры определяется из выражения

$$L = \frac{Q_{изб}}{C_v \cdot (T_{yx} - T_{пр}) \cdot \rho_v}, \quad (5.2)$$

где $Q_{\text{изб}}$ – избыточное тепло, кДж/ч; C_v и ρ_v – соответственно удельная теплоемкость, кДж/(кг · К), и плотность воздуха, кг/м³; $T_{\text{ух}}$ и $T_{\text{пр}}$ – температура соответственно уходящего и приточного воздуха, К.

В расчетах теплоемкость воздуха принимают $C_v = 1,01$ кДж/(кг · К).

Если $Q_{\text{изб}}$ выразить в ваттах, формула 5.2 примет вид

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{0,28 \cdot C_v \cdot (T_{\text{ух}} - T_{\text{пр}}) \cdot \rho_v}. \quad (5.3)$$

При наличии в помещении избытка влаги количество вентиляционного воздуха L , м³/ч, рассчитывают по формуле

$$L = \frac{G_{\text{вл}}}{(d_1 - d_2) \cdot \rho_v}, \quad (5.4)$$

где $G_{\text{вл}}$ – количество выделяющейся в помещении влаги, г/ч; d_1 и d_2 – соответственно влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения, и приточного сухого воздуха, г/кг; ρ_v – плотность приточного воздуха, кг/м³.

Под **кратностью воздухообмена** понимают отношение объема вентиляционного воздуха L к внутреннему свободному объему помещения $V_{\text{п}}$ (1/ч):

$$K = \frac{L}{V_{\text{п}}}. \quad (5.5)$$

При определении количества вентиляционного воздуха в помещениях с одновременным выделением вредных веществ, тепла и влаги следует принимать большее из рассчитанных значений для каждого вида производственной вредности.

2. Методика определения производительности вентиляционной установки

Объем удаляемого или поступающего вентиляционного воздуха L , м³/ч, определяется по формуле

$$L = 3600 \cdot V_{\text{ср}} \cdot F, \quad (5.6)$$

где $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения воздуха, м/с; F – площадь сечения воздуховода, м².

Связь между значениями давления, создаваемого движущимся по воздуховоду воздухом, в разных сечениях установившегося воздушного потока выражается уравнением Бернулли:

$$P_{\text{ст1}} + \frac{\rho_1 \cdot V_1^2}{2} = P_{\text{ст2}} + \frac{\rho_2 \cdot V_2^2}{2} + \Delta P, \quad (5.7)$$

где $P_{\text{ст1}}$ и $P_{\text{ст2}}$ – статическое давление потока в первом и втором сечениях воздуховода, расположенных по ходу движения воздуха; $\frac{(\rho_1 \cdot V_1)^2}{2}$ и $\frac{(\rho_2 \cdot V_2)^2}{2}$ – динамическое давление (P_d) в первом и втором сечениях воздуховода; ρ_1 и ρ_2 – плотность воздуха в рассматриваемых сечениях; V_1 и V_2 – средняя скорость движения воздуха в сечениях воздуховода; ΔP – потеря давления потока на участке между рассматриваемыми сечениями.

Статическое давление воздушного потока представляет собой давление между частицами движущегося воздуха и давление воздушного потока на стенки трубопровода. Статическое давление отражает потенциальную энергию воздушного потока в данном сечении и расходуется на преодоление сопротивлений системы при движении воздуха. Оно может быть положительным (нагнетательный трубопровод) и отрицательным (всасывающий трубопровод).

Динамическое давление характеризует кинетическую энергию воздушного потока в данном сечении и находится в зависимости от плотности воздуха и квадрата скорости воздушного потока:

$$P_d = \frac{\rho \cdot V^2}{2}. \quad (5.8)$$

Динамическое давление воздуха всегда положительно и при любой системе отсчета всегда одинаково.

Полное давление воздушного потока в данном сечении складывается из статического и динамического давлений:

$$P_{\text{п}} = P_{\text{ст}} + P_d = P_{\text{ст}} + \frac{\rho \cdot V^2}{2}. \quad (5.9)$$

Полное давление может быть положительным и отрицательным. Оно определяет всю энергию воздушного потока в том сечении трубопровода, где его измеряют.

Зная динамическое давление P_d , создаваемое движущимся воздухом, можно определить среднюю скорость движения воздуха в закрытом воздуховоде.

Для определения средней скорости воздуховод круглого сечения условно разбивают на несколько концентрических колец, а воздухо-

вод прямоугольного сечения делят линиями, параллельными стенкам газохода, на ряд равновеликих прямоугольников со стороной 150–200 мм (рис 5.1).

Координаты и количество точек измерения динамического напора определяются формой и размерами сечения воздуховода. Для круглого сечения их находят по формуле

$$D_i = D \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot x - 1}{n}}, \quad (5.10)$$

где D_i – диаметр условного концентрического кольца, на котором находятся точки замера, мм; D – диаметр воздуховода, мм; x – порядковый номер кольца, считая от центра воздуховода; n – число точек измерений (две для каждого диаметра условных концентрических колец).

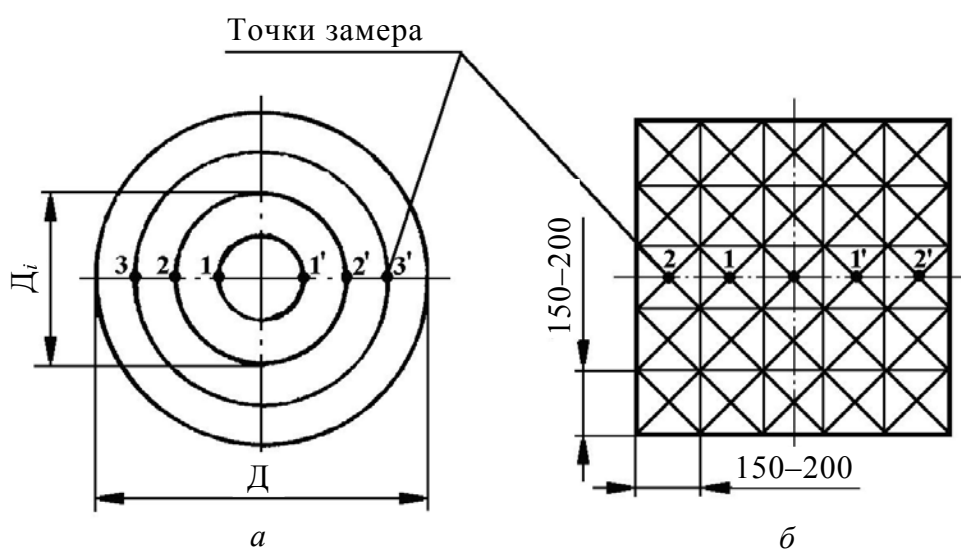


Рис. 5.1. Координаты точек замера в воздуховодах круглого (а) и прямоугольного (б) сечений

Соотношение числа колец и диаметра воздуховода круглого сечения дано в табл. 5.2.

Таблица 5.2

**Соотношение числа колец
и диаметра воздуховода круглого сечения**

Диаметр воздуховода, мм	100–200	200–400	400–600	600–800	800–1000
Число колец	3	4	5	6	8

Расстояние ближней и дальней точек замера для каждого кольца от внутренней стенки воздуховода определяется по следующим формулам:

$$L_{i1} = \frac{D}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot x - 1}{n}} \right); \quad (5.11)$$

$$L_{i2} = \frac{D}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{2 \cdot x - 1}{n}} \right), \quad (5.12)$$

где L_{i1} и L_{i2} – расстояния от внутренней стенки воздуховода соответственно до ближайшей и дальней точек замера на i -м кольце, мм; x – порядковый номер кольца, считая от центра воздуховода; n – число всех точек измерений на условных концентрических кольцах, для прямоугольных воздуховодов минимальное число точек замеров – три в каждом направлении.

Скорость воздуха в воздуховоде V , м/с, при известном динамическом напоре определяется по формуле

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot P_d}{\rho}}, \quad (5.13)$$

где P_d – динамическое давление воздуха в воздуховоде, Н/м²; ρ – плотность воздуха, кг/м³. Для стандартных атмосферных условий (температура воздуха +20°C, относительная влажность 50%, барометрическое давление 0,101 МПа) плотность воздуха принимают равной 1,2 кг/м³.

Среднюю скорость воздуха в воздуховоде V_{cp} , м/с, определяют по формуле

$$V_{cp} = \frac{1}{m} \cdot (V_0 + V_{i1} + V_{i2} + \dots + V_{in}), \quad (5.14)$$

где m – число всех точек измерений; V_0 – скорость воздуха по оси воздуховода, м/с; V_{i1} – V_{in} – скорость воздуха в точках измерений на условных концентрических кольцах.

Объем воздуха (м³/ч), удаляемого через всасывающие отверстия (вытяжные зонты, рабочие проемы вытяжных шкафов, отсасывающие укрытия и т. д.), определяется по формуле

$$L = 3600 \cdot K \cdot V_{cp} \cdot F, \quad (5.15)$$

где K – коэффициент поджатия струи, зависящий от скорости всасывания; при скоростях всасывания 0,75–4 м/с $K = 0,76–0,84$; $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения воздуха, м/с; F – площадь рабочего сечения воздуховода, м².

Средняя скорость воздуха в проемах может быть определена с помощью чашечного или крыльчатого анемометра.

3. Методика определения концентрации пыли в вентиляционных выбросах и оценка эффективности работы очистной установки

Методы измерения концентрации пыли делятся на две группы: 1) основанные на предварительном осаждении частиц пыли и исследовании осадка; 2) без предварительного осаждения.

К методам первой группы относятся: весовой, денситометрический, пьезоэлектрический, а также метод, основанный на измерении перепада давления на фильтре.

Весовой метод является общепринятым, и все существующие и вновь разрабатываемые пылемеры, основанные на других методах измерений, градуируют, используя весовой метод. Весовой метод дает погрешность порядка 10%, величина погрешности в значительной степени зависит от класса применяемого оборудования и контрольно-измерительных приборов.

Денситометрический метод включает все операции весового метода, кроме взвешивания пробы, которое заменено определением оптической плотности пылевого осадка.

Пьезоэлектрический метод основан на измерении собственной частоты колебаний пьезокристалла во время осаждения частиц пыли на его поверхности.

К методам второй группы относятся: *электрические методы*, основанные на способности частиц пыли электризоваться; *акустический метод*, основанный на измерении параметров акустического поля при наличии частиц пыли между источником и приемником звука; *оптические методы*, основанные на явлении поглощения света движущимся пылегазовым потоком и рассеяния света движущимися частицами пыли.

При весовом методе измерения концентрации пыли в газовом потоке отбор проб производится с помощью внутренней или внешней фильтрации (рис. 5.2).

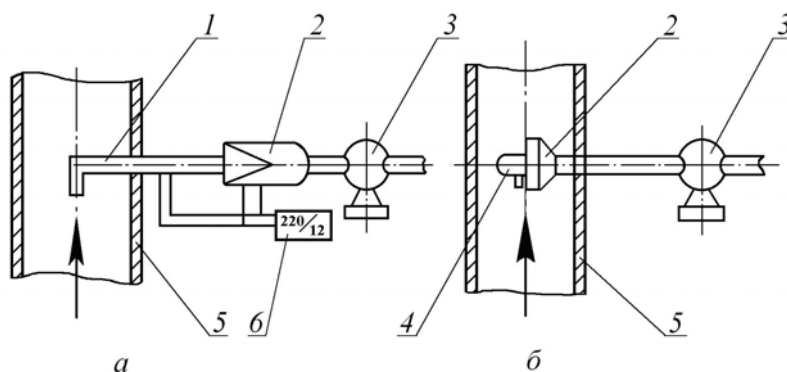


Рис. 5.2. Схема отбора проб:

а – внешняя фильтрация; *б* – внутренняя фильтрация;
 1 – заборная трубка; 2 – фильтр; 3 – воздуходувка с ротаметром;
 4 – стеклянный алонж; 5 – воздуховод; 6 – трансформатор 220/12

При внешней фильтрации фильтрующее устройство располагается вне воздуховода, при внутренней – внутри его.

Для получения достоверных результатов необходимым условием является выполнение ряда требований:

а) носик пылезаборной трубки должен быть направлен навстречу газовому потоку соосно с основным его направлением; отклонение не должно превышать 5° ;

б) скорость газа во входном отверстии наконечника пылезаборной трубки должна быть равна скорости пылегазового потока в измеряемой точке (изокинетический отбор пробы газа);

в) допускается превышение скорости отбора пробы над скоростью газового потока не более 10%.

Если скорость отбора превышает скорость газового потока, более крупные частицы пыли из внешней части отбираемого объема газа по инерции пройдут мимо входного отверстия пробоотборного устройства. Полученная величина концентрации пыли окажется заниженной, а отобранная пыль будет более мелкой. При отборе с пониженной скоростью произойдет обратное явление – полученная величина запыленности окажется завышенной, а отобранная пыль будет более крупной. Отклонение входного отверстия пробоотборного устройства от положения, перпендикулярного направлению газового потока, даже при соблюдении изокинетичности, дает заниженные результаты запыленности, а отобранная пыль будет более мелкой.

Достоверность результатов зависит также от места расположения пылезаборной трубки в газоходе. Измерения желательно проводить на вертикальных участках газоходов, так как на горизонтальных участках большой протяженности концентрация пыли в нижней части се-

чения газохода выше, чем в верхней, а пыль более грубодисперсна. Участки круглого сечения предпочтительнее квадратных, а квадратные – прямоугольных. Скорость газа в измеряемом сечении трубопровода должна быть не менее 4 м/с.

Даже при соблюдении всех перечисленных требований сохраняется некоторая неравномерность в распределении пылегазового потока, поэтому пробы следует отбирать в различных местах сечения. Отбор проб производят в тех же точках, где проводятся измерения скорости газового потока.

Рекомендуется одинаковое время отбора пробы в каждой точке газохода. Его рассчитывают, деля общее время отбора одной пробы на число точек измерения вдоль диаметра газохода.

Для обеспечения изокINETИЧНОСТИ отбора пробы диаметр отверстия наконечника пробоотборной трубки d , мм, определяется расчетом

$$d = 10^3 \cdot \sqrt{\frac{4W}{\pi V}}, \quad (5.16)$$

где W – расход газа через заборную трубку, м³/с; V – скорость отбора пробы (равна скорости газового потока в точке отбора пробы), м/с.

Зная скорость газа в газоходе и диаметр наконечника пробоотборной трубки, расход газа при отборе пробы можно определить по номограмме (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Номограмма равных скоростей движения газа в газоходе и носике пробоотборного устройства

Конструкция пробоотборных трубок должна отвечать условиям работы. При работе с горячими газами (300–400°С) трубку следует

охлаждать водой или воздухом, а в случае возможной конденсации в трубке водяного пара ее нужно обогревать.

Перед проведением измерений фильтры высушивают в сушильном шкафу при температуре 80°C в течение 20–30 мин или выдерживают в эксикаторе с плавленым хлористым кальцием в течение 2–3 ч и взвешивают.

Запыленность Z , г/м³, рассчитывают по формуле

$$Z = \frac{(\delta + a + e) \cdot 1000}{V \cdot t}, \quad (5.17)$$

где δ – привес пыли на фильтре после отбора пробы, г; a – количество пыли, осевшей в заборной трубке, г; e – поправка на изменение массы контрольного фильтра, г; V – расход газа при отборе пробы, л/мин; t – время отбора пробы, мин.

Весовой метод используется также при определении эффективности очистки газов в пылеулавливающих аппаратах.

Эффективность очистки газов может быть определена по содержанию пыли в газах до поступления в газоочистной аппарат и на выходе из него:

$$n = \frac{W_{\text{ВХ}} \cdot Z_{\text{ВХ}} - W_{\text{ВЫХ}} \cdot Z_{\text{ВЫХ}}}{W_{\text{ВХ}} \cdot Z_{\text{ВХ}}} = 1 - \frac{W_{\text{ВЫХ}} \cdot Z_{\text{ВЫХ}}}{W_{\text{ВХ}} \cdot Z_{\text{ВХ}}}, \quad (5.18)$$

где $W_{\text{ВХ}}$, $W_{\text{ВЫХ}}$ – объемный расход газов, поступающих в газоочистной аппарат и выходящих из него, м³/с; $Z_{\text{ВХ}}$, $Z_{\text{ВЫХ}}$ – концентрация пыли в газах, поступающих в газоочистной аппарат и выходящих из него, кг/м³.

Если объем газа, поступающего в аппарат и выходящего из него, не изменяется, то формула примет вид

$$n = 1 - \frac{Z_{\text{ВЫХ}}}{Z_{\text{ВХ}}}. \quad (5.19)$$

4. Экспериментальная часть

4.1. Описание лабораторной установки и приборов

Лабораторная вентиляционная установка (рис. 5.4) состоит из центробежного вентилятора 1, воздухопроводов разного диаметра 2, 3, циклона 4, дозирующего устройства 5. Напорный воздухопровод имеет горизонтальные и вертикальные участки, по одному расширяющемуся

(диффузор) и сужающемуся (конфузор) патрубку и три колена под углом 90° . На вертикальном и горизонтальном участках трубопроводов предусмотрены точки замера скорости воздушных потоков. Кроме того, скорость воздуха измеряется в проеме вытяжного шкафа с регулируемым сечением рабочего пространства.

Для выполнения работы применяют следующие приборы: анемометр с секундомером, микроманометр ММН-240, комбинированный приемник давления для измерения динамических давлений потока воздуха.

Анемометры предназначены для измерения скорости движения воздуха в приточных и вытяжных отверстиях, воздуховодах, проемах стен и т. п. В данной работе они используются для осуществления замеров скорости воздуха в проеме вытяжного шкафа. На практике применяются ручные крыльчатые анемометры с пределами измерений скоростей воздуха $0,2\text{--}5\text{ м/с}$ и чашечные, предназначенные для измерения скоростей от 1 до 20 м/с .

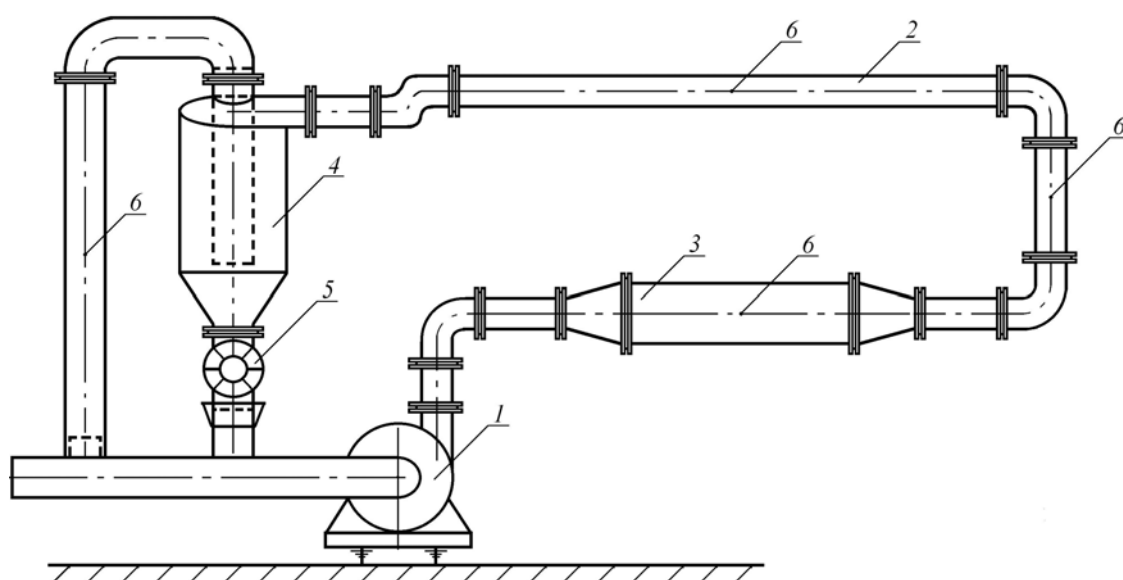


Рис. 5.4. Схема экспериментальной установки:

1 – вентилятор; 2, 3 – воздуховоды; 4 – циклон; 5 – дозатор; 6 – точки измерений

При измерении крыльчатка или чашечки, находящиеся в потоке воздуха, приводятся во вращательное движение. Счетный механизм отсчитывает на циферблате число оборотов крыльчатки или чашечек за $1\text{--}8$ мин. Затем по числу оборотов за одну секунду с помощью тарировочного графика, который прилагается к каждому анемометру, определяют скорость. Включение и выключение механизма анемометра производится арретиром.

Тарировочные графики для определения скорости движения потока воздуха до 1 м/с и 1–5 м/с с помощью ручного крыльчатого анемометра АСО-3 приведены на рис. 5.5, а с помощью чашечного анемометра МС-13 – на рис. 5.6.

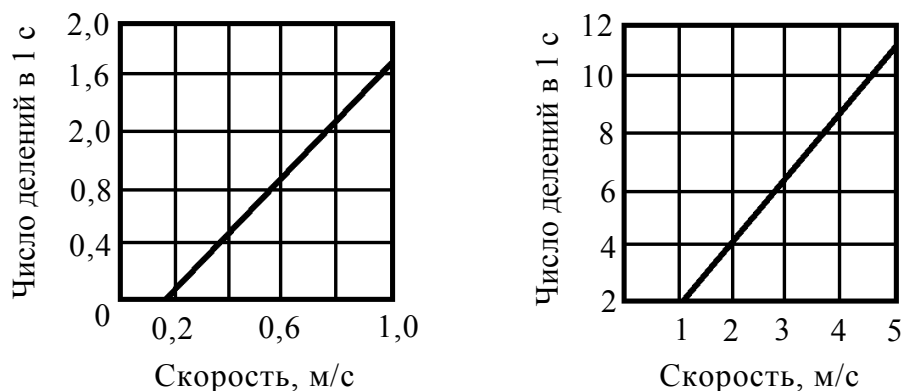


Рис. 5.5. Графики для определения скорости движения воздуха с помощью крыльчатого анемометра АСО-3



Рис. 5.6. График для определения скорости движения воздуха с помощью чашечного анемометра МС-13

Микроманометр ММН-240 представляет собой одноколенный спиртовой манометр с наклонно расположенной стеклянной трубкой (рис. 5.7). На планке, где капиллярную трубку устанавливают под разными углами, нанесены цифры 0,2; 0,3; 0,4; 0,6 и 0,8, соответствующие синусу угла наклона. На стеклянной капиллярной трубке выгравированы миллиметровые деления шкалы до 300 мм. Микроманометр обычно заполняют этиловым спиртом плотностью $809,6 \text{ кг/м}^3$.

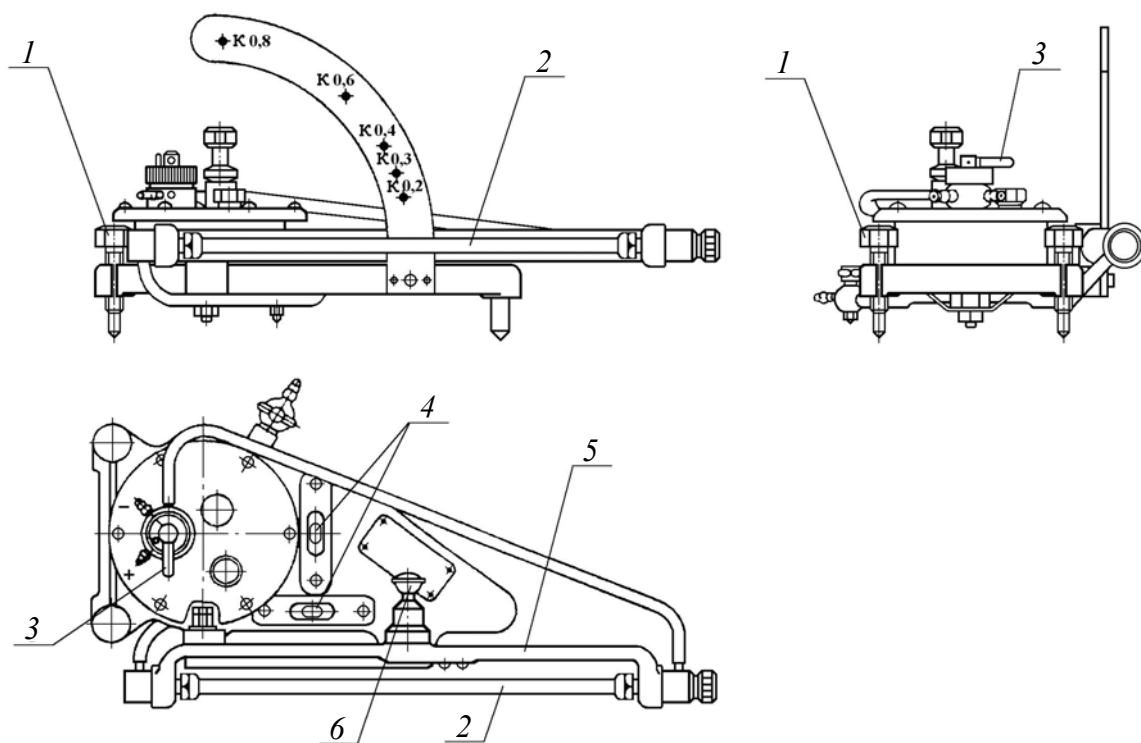


Рис. 5.7. Микроманометр многопредельный с наклонной трубкой ММН-240:
 1 – регулировочные ножки; 2 – измерительная трубка; 3 – трехходовой кран;
 4 – уровни; 5 – кронштейн; 6 – регулятор уровня

Комбинированный приемник давления (пневмометрическая трубка) служит для измерения динамических давлений потока при скоростях движения воздуха более 5 м/с и статических давлений в установившихся потоках (рис. 5.8).

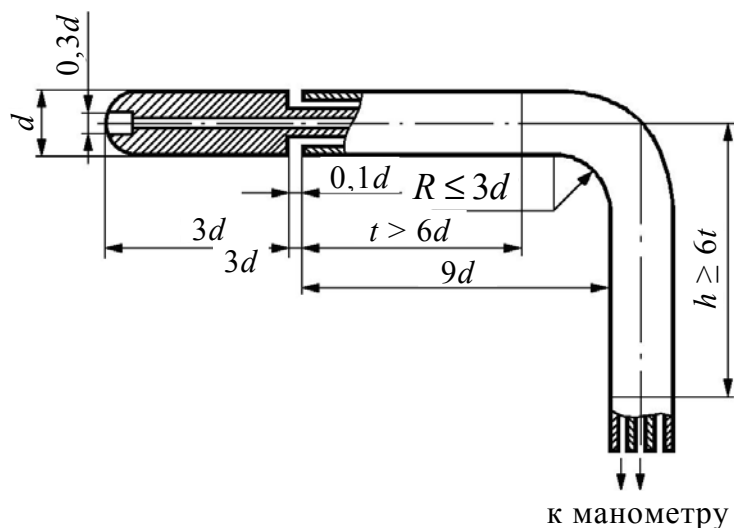


Рис. 5.8. Пневмометрическая трубка

Пневмометрическая трубка состоит из двух металлических трубок, вставленных одна в другую. Входное отверстие внутренней трубки находится в центре короткого конца напорной головки, выходное – на противоположном конце; оно обозначается знаком (+) и служит для замеров динамического и общего давления.

4.2. Порядок выполнения работы

4.2.1. Измерение скорости воздуха с помощью анемометра АСО-3

Перед началом работы включают с помощью арретира передаточный механизм анемометра и записывают начальное показание счетчика по трем шкалам. После этого анемометр устанавливают ветроприемником навстречу воздушному потоку и осью крыльчатки вдоль направления потока. Через 10–15 с одновременно включают механизм анемометра и секундомер.

Анемометр держат в воздушном потоке в течение 1–2 мин. После этого механизм анемометра и секундомер выключают, записывают конечные показания счетчика и время экспозиции в секундах. Делением разности конечного и начального показаний счетчика на время экспозиции определяют число делений, приходящихся на одну секунду.

Скорость потока определяется по градуировочному графику (рис. 5.5) следующим образом. На вертикальной оси графика отыскивают число, соответствующее числу делений шкалы счетчика анемометра в секунду. От этой точки проводят горизонтальную линию до пересечения с прямой графика. Из точки пересечения опускают вертикальную линию до пересечения с горизонтальной осью. Точка пересечения дает искомую скорость воздушного потока.

Среднюю скорость движения воздуха $V_{\text{ср}}$, м/с, определяют по формуле

$$V_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \frac{V \cdot i}{n}, \quad (5.20)$$

где n – количество точек измерений (по рис. 5.1).

Объем воздуха, поступающего во всасывающий проем вытяжного шкафа, рассчитывают по формуле (5.15).

Результаты замеров и расчетные данные заносят в табл. 5.3.

Таблица 5.3

**Результаты замеров скорости и расчет расхода воздуха
через проем вытяжного шкафа**

Точки замеров	Условия проведения замеров	Данные для определения скорости воздуха		Разность показаний счетчика	Время работы анемометра, с	Число делений в 1 с	Скорость воздуха, м/с	Площадь проема, м ²	Расход воздуха, м ³ /ч	Кратность воздухообмена, 1/ч
		начальные показания счетчика по шкале	конечные показания счетчика по шкале							
1	Устройство выкл.									
	Устройство вкл.									

4.2.2. Определение скорости движения воздуха с помощью микроанометра ММН-240

Пользоваться микроанометром (рис. 5.7) рекомендуется в следующем порядке:

- 1) установить прибор на устойчивом столе;
- 2) отрегулировать регулировочными ножками 1 горизонтальное положение прибора, чтобы в каждом уровне 4 пузырьки стояли в центре;
- 3) повернуть пробку трехходового крана 3 против часовой стрелки до упора, поставив кронштейн 5 с измерительной трубкой 2 под необходимым наклоном, и регулятором уровня 6 откорректировать ноль;
- 4) резиновым шлангом соединить прибор с пневмометрической трубкой, соблюдая полярность, указанную на приборе и пневмометрической трубке;
- 5) пневмометрическую трубку установить через отверстие в трубопроводе навстречу потоку воздуха строго параллельно направлению его движения; если прибор сбился – отрегулировать его регулировочными ножками 1;
- 6) провести замеры динамического давления в точках сечения трубопровода в соответствии с требованиями ГОСТ 12.3.018-79 (рис. 5.1).

В воздуховодах круглого поперечного сечения измерения можно производить по одной оси (диаметру), а при недостаточно выровненном потоке – по двум взаимно перпендикулярным диаметрам.

Истинное значение динамического давления P_d связано с видимой длиной столба спирта l в измерительной трубке выражением

$$P_d = 0,1 \cdot K_{\Pi} \cdot l, \quad (5.21)$$

где K_{Π} – постоянная прибора, значения ее указаны на дуге прибора. Постоянная 0,1 использована в формуле (5.21) для перевода значения P_d в ньютоны на метр квадратный (Н/м^2).

Среднюю скорость и объем проходящего через воздуховод воздуха рассчитывают по формулам (5.14) и (5.15).

Результаты замеров и расчетные данные заносят в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Результаты замеров скорости и расчет расхода воздуха через воздуховод

Точки замеров	Показания микроманометра		Постоянная прибора K_{Π}	Динамический напор, Н/м^2	Скорость движения воздуха, м/с	Площадь сечения воздуховода, м^2	Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$	Кратность воздухообмена, $1/\text{ч}$
	начальный отсчет меннискса	в точках воздуховода						

4.2.3. Определение запыленности воздуха и эффективности работы очистного устройства (циклона)

Измерение запыленности воздуха выполнить на вертикальном участке воздуховода и непосредственно за циклоном перед выбросом газа в отводной воздуховод или в атмосферу.

По заданному преподавателем диаметру наконечника пробоотборной трубки с помощью номограммы (рис. 5.3) определить расход газа при отборе пробы (л/мин). Результаты замеров и расчетов занести в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Результаты замеров запыленности воздуха и расчет степени очистки воздуха от пыли в циклоне

Точки замеров	Начальная масса фильтра, г	Расход воздуха через фильтр, л/мин	Время отбора пробы, мин	Конечная масса фильтра, г	Привес пыли на фильтре, г	Запыленность воздуха до очистки, г/м^3	Запыленность воздуха после очистки, г/м^3	Степень очистки воздуха в циклоне, %
---------------	----------------------------	------------------------------------	-------------------------	---------------------------	---------------------------	---	--	--------------------------------------

Взвесить фильтр и собрать установку для проведения измерений в соответствии с рис. 5.2, *а*. Обогрев пробоотборной трубки, высушивание фильтров не производят, так как за короткий промежуток времени отбора пробы температура и влажность воздуха в помещении практически остаются постоянными.

Вставить пробоотборную трубку в воздуховод так, чтобы наконечник был направлен по ходу движения газа и находился в первой точке отбора. Установить по ротаметру необходимый расход газа и повернуть пробоотборную трубку отверстием навстречу газовому потоку. Произвести отбор пробы в тех точках по сечению воздуховода, где ранее измеряли скорость газового потока. Время отбора в каждой точке должно быть одинаковым, его рассчитывают по формуле

$$t = \frac{T}{n}, \quad (5.22)$$

где T – общее время отбора пробы, мин; n – число проб по сечению воздуховода.

Закончив отбор пробы, вынуть пробоотборную трубку из воздуховода и выключить воздухоподогреватель. Взвесить фильтр и рассчитать запыленность газового потока по формуле (5.17). Так как отбор производится при постоянных температуре и влажности в помещении, поправками a и b можно пренебречь. Аналогичные измерения выполнить для второй точки (после циклона).

По формуле (5.18) определить эффективность работы очистного устройства.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Виды и назначение производственной вентиляции.
2. В чем заключается принципиальное различие используемых систем вентиляции? Выбор систем вентиляции.
3. Устройство местной, вытяжной и общеобменной систем вентиляции.
4. Какую систему вентиляции называют смешанной? Сущность системы кондиционирования.
5. Определение воздухообмена. Нормативные документы, регламентирующие санитарно-гигиенические условия труда.
6. Расчетные формулы воздухообмена при избытке пылевых, газовых, паровых и тепловых выделений. Определение кратности воздухообмена.

7. Что характеризует статическое, динамическое и полное давление воздушного потока? Какой из этих параметров используется для расчета скорости воздушного потока?

8. Методика измерения средней скорости воздушного потока в круглом и квадратном сечениях трубопроводов.

9. Методика и методы определения концентрации пыли в воздушных выбросах.

10. Устройство лабораторной установки и используемые для измерения приборы. Назначение и пределы измерений скоростей воздушных потоков с помощью анемометра и микроанометра. Назначение и устройство пневмометрической трубки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03. – Введ. 01.01.05. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2004. – 78 с.

2. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ». – Введ. 01.07.09. – Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2009. – 148 с.

3. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: СанПиН № 9-80 РБ 98. – Введ. 01.07.98. – Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 1998. – 12 с.

4. Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний: ГОСТ 12.1.011-78. – Введ. 01.07.79. – М.: Гос. ком. по стандартам, 1979. – 24 с.

5. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний: ГОСТ 12.3.018-79. – Введ. 01.01.81. – М.: Гос. ком. по стандартам, 1980. – 12 с.

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА НА РАБОЧИХ МЕСТАХ, ДИСПЕРСНОСТИ ПЫЛИ И МОРФОЛОГИИ ЧАСТИЦ

Цель работы: ознакомиться с общими характеристиками пылей, воздействием их на организм человека, пожароопасными свойствами пылей, оборудованием и приборами для изучения пыли, нормативными документами по нормированию пыли; научиться определять фактическую концентрацию пыли в воздухе, дисперсность частиц и их морфологию.

Приборы и оборудование: установка для исследования запыленности воздуха, аналитические весы, микроскоп, фильтры типа АФА или ФПП.

1. Общие положения

Промышленные пыли (аэрозоли) – это тонкодисперсные частицы, образующиеся при различных производственных процессах и способные длительное время находиться в воздухе во взвешенном состоянии.

Промышленную пыль классифицируют по различным признакам: происхождению, составу, действию на организм человека, степени дисперсности, химическому составу, электрическим и магнитным свойствам, пожаро- и взрывоопасности и т. д.

По происхождению аэрозоли подразделяются на пыли дезинтеграции и пыли конденсации. **Пыли дезинтеграции** образуются при дроблении, измельчении, помоле, резании и других механических процессах. Они характеризуются полидисперсностью, а частицы пыли имеют неправильную форму. **Пыли конденсации** образуются в результате охлаждения и конденсации паров расплавленных масс (металлов, стекломассы, расплавов солей, насыщенных растворов и т. п.). В этом случае образующиеся частицы пыли имеют округлую, овальную, более правильную форму, они характеризуются высокой дисперсностью.

По составу пыль подразделяют на органическую, неорганическую и смешанную.

– **органическая пыль:**

- а) растительная (древесная, хлопковая и др.);
- б) животная (шерстяная, костная и др.);

в) искусственная (пыль пластмасс, резины);

– **неорганическая пыль**:

а) минеральная (кварцевая, силикатная и др.);

б) металлическая (железная, алюминиевая и др.).

– **смешанная пыль** (пыль, образующаяся при шлифовке металла, при зачистке литья и др.).

По размеру мелкодисперсные частицы разделяют на три основные группы:

1) частицы с размером более 10 мкм, оседающие в неподвижном воздухе с возрастающей скоростью, недиффундирующие;

2) частицы с размером от 0,1 до 10 мкм, оседающие в воздухе с постоянной скоростью, условно называемые «туманом»;

3) частицы с размером менее 0,1 мкм, находящиеся в постоянном броуновском движении и энергично диффундирующие. Пыль такой крупности почти не оседает и по своим свойствам приближается к молекулам газа.

Характер биологического действия пыли обуславливается главным образом дисперсностью пылевых частиц. С этим фактором связана как длительность пребывания взвешенной пылевой частицы в воздушной среде, так и глубина ее проникновения в дыхательные пути. Однако при оценке влияния пыли на организм определенное значение имеют и ее физико-химическая активность, электростатический заряд и другие свойства.

Известно, что частицы пыли с диаметром более 10 мкм практически не содержатся во взвешенном состоянии в неподвижном воздухе, поскольку скорость их оседания достаточно велика (например, для кварцевой частицы она составляет порядка 8 мм/с). Кроме того, такая пыль практически не проникает глубоко в органы дыхания. Она задерживается в основном в верхних дыхательных путях.

Частицы размером около 6 мкм способны проникать глубже в легкие, но они оседают главным образом в верхних бронхах. Значительная часть задержанной пыли при этом удаляется из органов дыхания при чихании и кашле.

Частицы размером менее 0,1–0,2 мкм наиболее долго могут существовать в виде аэрозоля, а, кроме того, при вдыхании запыленного воздуха проникают в самые малые по размеру бронхи легких. Тем не менее, установлено, что такая пыль мало патогенна. Связано это с тем, что частицы такого размера подвержены броуновскому движению, плохо оседают на внутренних поверхностях бронхов и вновь удаляются из легких при выдохе.

Наибольшую опасность для человека представляют пыли дезинтеграции с размером пылинок до 5 мкм (особенно фракция 1–2 мкм) и пыли конденсации с частицами менее 0,3–0,4 мкм, наиболее глубоко проникающие и задерживающиеся в легких.

В соответствии с современными представлениями форма и консистенция частиц решающего значения на возникновение патологических изменений в организме не оказывают. Однако доказано, что с гигиенической точки зрения весьма важными характеристиками пылей являются:

- **электрические свойства** пыли. Имеются данные, указывающие на то, что процент задержки в дыхательных путях электрически заряженных пылинок в 2–3 раза больше, чем нейтральных. Знак заряда не является решающим фактором в оценке токсикологии пыли;

- **химический состав** пыли влияет на ее биологическую активность. Различают четыре вида биологического воздействия пыли:

- **фиброгенное воздействие**, т. е. свойство пыли вызывать фиброз – разрастание соединительной ткани (рубцовой ткани), которая не обладает свойством обеспечивать диффузий газов из легких в кровеносные сосуды; фиброгенность пыли зависит главным образом от содержания в ней свободной двуокиси кремния;

- **аллергенное воздействие**, т. е. свойство пыли вызывать у человека повышенную чувствительность к повторному воздействию пыли (например, пыль канифоли, хлопка, соломы, сосны, шерсти и т. д.);

- **токсическое воздействие**, т. е. способность некоторых видов пыли (в основном металлов) всасываться в кровь, вызывая общее отравление организма;

- **раздражающее действие** – свойство пыли некоторых веществ вызывать раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, которое сопровождается чиханием, кашлем, местными воспалительными процессами;

К раздражающим пылям относятся:

- а) **минеральная** – песочно-кварцевая, корундовая пыль, образующаяся, например, при заточных и шлифовальных процессах на станках с абразивными кругами; пыль, образующаяся при различных технологических операциях (размоле, просеивании, смешивании, транспортировке и т. п.);

- б) **металлическая** – чугунная, железная, медная, алюминиевая, цинковая и другие, образующиеся при разных видах механической обработки металлов;

в) *древесная*, образующаяся при обработке древесины;
г) *полимерная*, возникающая на различных стадиях технологических процессов переработки полимеров (полиэтиленовая, полистирольная, фенолформальдегидная и т. д.);

– ***растворимость*** пыли в воде и тканевых жидкостях может иметь положительное и отрицательное значение. Если пыль нетоксична и действие ее на ткань сводится к механическому воздействию, хорошая растворимость такой пыли относится к благоприятным факторам, способствующим быстрому удалению ее из легких. В случае токсичной пыли хорошая растворимость является отрицательным фактором.

Не вся пыль, попадающая в дыхательные пути, достигает легких: часть ее задерживается в верхних дыхательных путях, в первую очередь, в полости носа. Волоски слизистой оболочки носа, извилистые ходы, липкая слизь, покрывающая внутреннюю поверхность дыхательных путей, мерцательный эпителий слизистой носа являются отличными механизмами, задерживающими пылевые частицы.

Значительная часть (в среднем 50%) задержанной пыли выделяется при чихании и кашле.

В легких происходит процесс фагоцитоза пылевых частиц. **Фагоцитоз** является защитной функцией организма и способствует очищению легких от пыли за счет захвата частиц пыли белыми кровяными тельцами (фагоцитами) и выведения их по лимфатическим узлам.

Однако при систематическом воздействии большого количества пыли этих защитных реакций организма становится недостаточно и в организме развиваются патологические изменения.

Пылевая патология является в основном легочной патологией и известна в виде профессионального заболевания – **пневмокониоза**. Однако воздействие промышленной пыли может способствовать также более частому проявлению и более тяжелому течению ряда неспецифических легочных заболеваний.

Пневмокониоз имеет ряд разновидностей, носящих название соответственно вдыхаемой пыли: **силикоз** – при вдыхании кварцевой пыли, **антракоз** – угольной, **асбестоз** – асбестовой, **сидероз** – железной, **амилоз** – мучной и крахмальной пыли и т. д.

Наиболее фиброгенным является кристаллический кремний, менее активен аморфный, но в виде аэрозолей конденсации двуокиси кремния он не менее фиброгенен, чем кристаллический. Поэтому силикоз является наиболее опасной формой пневмокониоза.

Силикоз характеризуется тяжелыми склеротическими изменениями в органах дыхания. Одновременно значительные нарушения происходят в нервной, сердечно-сосудистой и лимфатической системах, в желудочно-кишечном тракте. Следовательно, силикоз является заболеванием всего организма.

В процессе протекания силикоза различают три стадии.

Начальная стадия характеризуется неясно выраженной клинической картиной. Человек жалуется на одышку при физических нагрузках, сухой кашель. Установить начало заболевания можно, проведя рентген легких. На рентгенограмме видно усиление легочного рисунка, у корня легкого появляются небольшие склеротические узелки диаметром менее 1 мм, наблюдаются участки затемнения легких, поскольку в лимфатических сосудах скапливаются фагоциты вместе с захваченными ими пылевыми частицами.

На *второй стадии* заболевания у человека появляется одышка даже при ходьбе. На рентгенограмме легких видны затемнения легких в виде отчетливо проявляющихся склеротических узелков.

На *третьей стадии* заболевания наблюдается резкая одышка, свидетельствующая о значительной затрудненности работы сердца вследствие развития изменений в легких, наступают признаки недостаточности сердечно-сосудистой системы. Альвеолы легких теряют свои защитные свойства против туберкулезных палочек, поэтому на третьей стадии заболевания пневмокониозом часты осложнения в виде туберкулеза легких. В результате в легких образуются каверны, которые являются причиной кровохарканья. На рентгенограмме легких отчетливо видны крупные узелки рубцовой ткани, каверны. Эта стадия заболевания практически не поддается лечению.

Если пыль не содержит окиси кремния и нетоксична, то в результате ее вдыхания происходит механическое забивание легких пылевыми частицами. При таких формах пневмокониоза болезнь протекает в более легких формах и со временем, если человек больше не подвергается воздействию пыли, легкие самоочищаются.

По этой причине нормируются различные предельно допустимые концентрации (ПДК) пылей в рабочей зоне в зависимости от содержания в них кремнезема. Все пыли по этому признаку делятся на три группы.

1. Пыли с содержанием кремнезема свыше 70% (кварцит, кристобалит и др.) имеют ПДК 1 мг/м^3 .

2. Пыли с содержанием кремнезема от 10 до 70% (гранитная, шамотная, углепородная и др.) должны иметь концентрацию в воздухе рабочей зоны не более 2 мг/м^3 .

3. Пыли с содержанием кремнезема от 2 до 10% (горючие сланцы, глина и др.) имеют ПДК 4 мг/м³.

Производственная пыль наряду со специфичным заболеванием – пневмокониозом может вызывать у человека ряд неспецифичных болезней дыхательных путей и других органов, например заболевания глаз (конъюнктивит), кожи (асбестовые бородавки, фурункулез, угреватость и т. д.), верхних дыхательных путей (катар верхних дыхательных путей, туберкулез легких, пневмония и т. д.).

Пыль способна адсорбировать из воздуха некоторые ядовитые вещества, поэтому сама может оказаться ядовитой. Например, угольная пыль и сажа могут адсорбировать оксид углерода, пары толуола, бензола, бензпирен и др.

Профессиональные отравления и заболевания обычно наблюдаются только при определенной концентрации токсичного вещества в воздухе.

Концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не может вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений, называется **предельно допустимой концентрацией**.

Рабочая зона – это пространство, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или непостоянного (временного) пребывания работающих.

ПДК пыли в воздухе рабочих помещений устанавливаются на основании специальных исследований и результатов профессиональных осмотров рабочих и утверждаются органами здравоохранения. Величины ПДК приведены в Санитарных нормах, правилах и гигиенических нормативах «Перечень регламентируемых в воздухе рабочей зоны вредных веществ», утвержденных Постановлением Министерства здравоохранения от 31.12.2008 г. № 240.

Для населенных мест предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе примерно от 10 до 100 раз ниже, чем ПДК в воздухе производственных помещений, где человек находится ограниченное время.

Предельно допустимые концентрации пыли некоторых веществ приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Предельно допустимые концентрации пыли

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³
1	2
Абразивный порошок из медеплавильного шлака	10
Алюминий и его сплавы (в пересчете на алюминий)	2
Алюминия оксид в виде аэрозоля дезинтеграции (глинозем, электрокорунд, монокорунд)	6
Аскорбиновая кислота	2
Вольфрам	6
Доломит	6
Железо	10
Зола	4
Известняк	6
Калий нитрат	5
Карбид	10
Керамика	2
Крахмал	10
Магний оксид	4
Медь, молибден	0,5
Органическая мучная пыль	0,2
Поликарбонат	10
Пыль доменного шлака	6
Пыли растительного и животного происхождения: с примесью диоксида кремния от 2 до 10%	4
зерновая	4
лубяная, хлопчатобумажная хлопковая, льняная, шерстяная, пуховая и др. (с примесью диоксида кремния более 10%)	2
древесная и др. (с примесью диоксида кремния менее 2%)	6
хлопковая мука (по белку)	0,5
Свинец и его неорганические соединения (по свинцу)	0,05
Силикатсодержащие пыли, силикаты, алюмосиликаты: асбесты природные (хризотил, антофиллит, актинолит, тремолит, магнезиарфведсонит) и синтетические асбесты, а также смешанные асбестопородные пыли при содержании в них асбеста более 20%	0,5

1	2
асбестоцемент неокрашенный и цветной при содержании в нем диоксида марганца не более 5%, оксида хрома не более 7%, оксида железа не более 10%	4
высокоглиноземистая огнеупорная глина, цемент, оливин, апатит, глина, шамот каолиновый	8
пыль стекла и стеклянных строительных материалов	2
слюды (флагопит, мусковит), тальк, талькопородные пыли (природные смеси талька с тремолитом, актинолитом, антофиллитом и др.), содержащие до 10% свободного диоксида кремния	4
Табак	3
Углерода пыли:	
коксы каменноугольные, пековые, нефтяные, сланцевые	6
другие ископаемые угли и углепородные пыли с содержанием свободного диоксида кремния до 5%	10
Целлюлоза	2
Чугун в смеси с электрокорундом до 30%	6

В соответствии с нормами, предельно допустимое содержание аэрозолей в воздухе рабочей зоны (в том числе и для смесей аэрозолей в сумме) не должно превышать 10 мг/м³.

К мероприятиям по борьбе с загрязнением воздуха пылью и защите организма человека от ее воздействия относятся:

- рационализация технологических процессов, устраняющая образование пыли, паров и газов или удаляющая вредные вещества из технологического процесса;
- герметизация промышленного оборудования;
- улавливание и нейтрализация промышленных выбросов;
- устройство общеобменных и местных вентиляционных систем;
- санитарно-гигиеническое содержание производственных помещений и выполнение работающими правил личной гигиены;
- использование индивидуальных средств защиты и ношение спецодежды;
- профессиональный отбор лиц для работы во вредных цехах и их периодический медицинский осмотр;
- инструктаж и обучение работающих безопасным приемам труда.

При работе в сильно запыленных помещениях надлежит пользоваться индивидуальными средствами защиты: респираторами (маска

со специальными фильтрами); кислородно-изолирующими приборами; устройствами, подающими свежий воздух для вдыхания извне, а также противопыльными очками и спецодеждой.

Кроме вредного действия на организм человека, пыль повышает износ оборудования (главным образом трущихся частей), увеличивает брак продукции.

Взвешенные в воздухе пыли способны образовывать взрывоопасные смеси с воздухом, а осевшие пыли могут гореть. По пожарной опасности пыли во много раз превосходят материалы, из которых они получены. Это объясняется большей удельной поверхностью пылей по сравнению с начальным материалом.

ГОСТ 12.1.041-83 ССБТ «Пожаровзрывобезопасность горючих пылей» дает понятие горючей пыли, перечень показателей, характеризующих ее, и методы обеспечения пожаро- и взрывобезопасности оборудования и технологических процессов при наличии в них горючих пылей.

Горючая пыль – это дисперсная система, состоящая из твердых частиц, размером менее 850 мкм, находящихся во взвешенном или осевшем состоянии в газовой среде, способная к самостоятельному горению в воздухе нормального состава.

По *горючести* пыли подразделяются на три группы – негорючие, трудногорючие и горючие.

Горючие пыли, находящиеся во взвешенном состоянии в газовой среде, характеризуются следующими показателями пожаровзрывоопасности:

- нижним концентрационным пределом распространения пламени (воспламенения) (НКПРП, НКПВ);
- минимальной энергией зажигания (W_{\min});
- максимальным давлением взрыва (P_{\max});
- скоростью нарастания давления при взрыве ($\Delta P/\Delta \tau$);
- минимальным взрывоопасным содержанием кислорода (МВСК).

Горючие пыли, находящиеся в осевшем состоянии в газовой среде, характеризуются следующими показателями пожаровзрывоопасности:

- температурой воспламенения;
- температурой самовоспламенения ($T_{\text{св}}$);
- температурой самовозгорания;
- температурой самонагрева;
- температурой тления;

- температурными условиями теплового самовозгорания;
- минимальной энергией зажигания (W_{\min});
- способностью взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами.

Определения этих показателей смотрите в лабораторной работе № 4.

Взрываемость пыли зависит от ее крупности, концентрации в воздушной среде, наличия кислорода в смеси, детонации взрыва и других факторов.

По степени взрываемости пыли делятся на три класса:

I класс – легковоспламеняющиеся пыли, в которых происходит быстрое распространение пламени. Источник тепла для них может быть относительно невелик (пламя зажженной спички);

II класс – легковоспламеняющиеся пыли, распространение пламени в которых требует высокотемпературного источника тепла или длительно действующего источника;

III класс – пыли, пламя которых в производственных условиях не распространяется. Они малоспособны образовывать в воздухе облако или содержат большое количество негорючих веществ. Горючие пыли становятся взрывоопасными, если нижний концентрационный предел их взрываемости не превышает 65 мг/м^3 .

Показатели пожаровзрывоопасности некоторых горючих пылей, находящихся во взвешенном состоянии, и температура самовоспламенения горючих пылей в осевшем состоянии приведены в табл. 6.2.

В связи с вышеизложенным, необходимо регулярно определять концентрацию пыли в воздухе производственных помещений.

Для определения запыленности воздуха необходимо вначале отобрать пробу воздуха из рабочей зоны, а затем выделить из нее пыль для дальнейшего исследования.

Для отбора проб воздуха существует несколько методов:

аспирационный – основан на просасывании воздуха через пористые материалы (хлопчатобумажную или минеральную вату, шерсть, бумажные фильтры) или жидкости (воду, масла). Однако чаще всего используют стандартные фильтры. Практически наибольшее распространение находят фильтры марок АФА-ВП-20, АФА-ХП-20, АФА-ХА-20, АФА-ВП-10, ФПП, изготовленные из различных полимерных фильтрующих материалов;

седиментационный – основан на естественном оседании пыли на стеклянные пластинки с последующим расчетом массы пыли на 1 м^2 поверхности;

электростатический – заключается в создании поля высокого напряжения, в котором пылевые частицы электризуются и притягиваются к электродам;

фотометрический – регистрируются пылевые частицы с помощью сильного бокового света;

радиоизотопный – основан на определении массы задержанной фильтром пыли по степени ослабления потока β -частиц, прошедших через фильтр до его запыления и после.

Таблица 6.2

Показатели пожаровзрывоопасности пылей

Горючее вещество	НКПВ, г/м ³	W_{\min} , мДж	$T_{\text{св}}$, °С	P_{\max} , кПа	$\frac{\Delta P}{\Delta \tau}$, кПа/с	МВСК, % об.
Полимер метилметакрилата	30	20	–	590	14 000	8
Полимер акрилнитрила	25	20	–	630	77 330	13
Смола фенольная	25	10	460	550	12 000	–
Полистирол	25	15	488	720	29 000	10
Полипропилен	32,7	3,4	395	–	–	–
Полиэтилен	12	30	440	560	–	13
Витамин С	60	20	280	610	33 200	–
Витамин А	45	80	250	570	35 000	–
Алюминий	10	0,025	470	60	63 000	2
Древесная мука	13–25	20	255	770	17 000	17
Торфяная пыль	50	41	205	250	9 200	11
Крахмал зерновой	40	30	625	770	–	10
Мука пшеничная в/с	28,8	50	380	650	13 000	11
Декстрин	40	–	400	680	19 300	10
Резиновая мука	74–79	2	377	550	20 000	14

В настоящей работе используется один из наиболее распространенных в практике аспирационный метод отбора проб воздуха. Практически наибольшее распространение находят фильтры марок АФА, ФПП, изготовленные из полимерных фильтрующих материалов.

Запыленность воздуха характеризуется массой пыли, содержащейся в единице объема (мг/м³).

2. Экспериментальная часть

2.1. Описание установки для исследования запыленности воздуха

Установка состоит из пылевой камеры 8 и приборного отсека 1 (рис. 6.1).

Пылевая камера служит для имитации производственного помещения с запыленным воздухом.

Поворотом ручки бункера-дозатора 9 исследуемая пыль вносится в пылевую камеру, где распыляется с помощью вентилятора. На правой стенке камеры установлен фонарь, который позволяет визуально определить наличие пыли в камере. На передней стенке пылевой камеры имеется штуцер 11, служащий для отбора проб воздуха. Отбор воздуха производится патроном, в который вставляются аэрозольные фильтры АФА-В-10 или АФА-В-18, изготовленные из перхлорвинилового фильтрующего материала (ткани Петрянова).

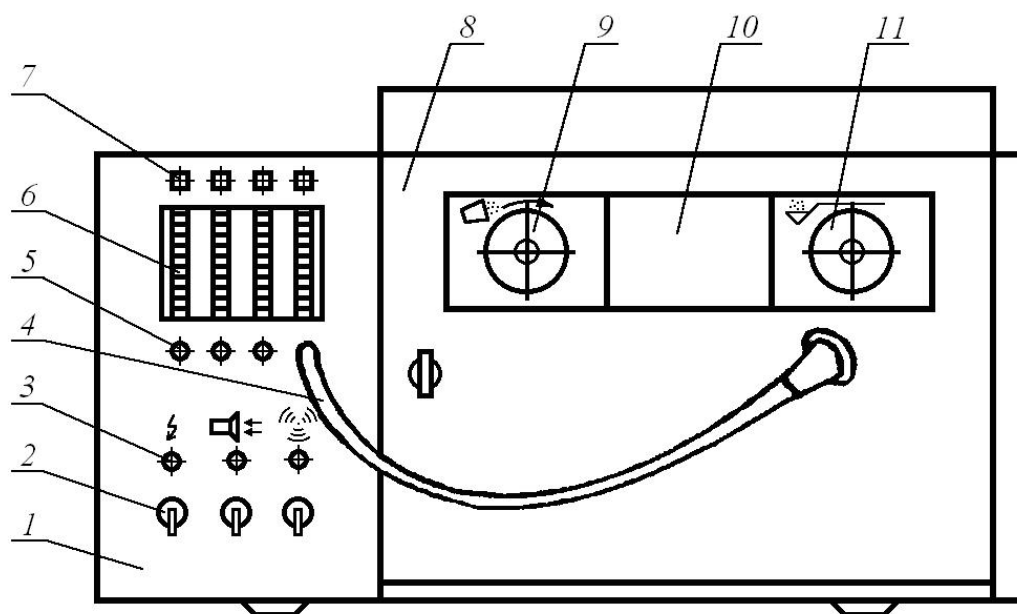


Рис. 6.1. Установка для исследования запыленности воздуха:
1 – приборный отсек; 2 – тумблеры; 3 – индикаторные лампы;
4 – пробоотборная трубка; 5 – штуцеры; 6 – ротаметры; 7 – вентили;
8 – пылевая камера; 9 – ручка бункера-дозатора; 10 – смотровое окно;
11 – пробоотборный штуцер

В приборном отсеке установлены аспиратор, позволяющий отбирать пробы воздуха с различной скоростью, и блок управления. В свою

очередь, аспиратор состоит из воздуходувки и 4-х ротаметров 6 (отсчет скорости движения воздуха производится по верхнему краю поплавков).

2.2. Порядок выполнения работы

2.2.1. Определение запыленности воздуха

1. Ознакомиться с установкой. Выяснить у преподавателя, какая пыль загружена в камеру. Включить тумблер «Сеть».

2. Взвесить фильтр с точностью до 0,1 мг.

Для этого вставьте сетевой адаптер электронных весов в розетку. Нажмите клавишу «→ 0/T ←»_{On}. При этом на короткое время засветятся все сегменты дисплея, затем индикация веса «* 0.0 mg». Если необходимо обнулить весы, кратко нажмите клавишу «→ 0/T ←»_{On}.

Откройте шторку и поместите на платформу весов фильтр. На дисплее появится масса фильтра. Если загорается индикатор «*», значит результат взвешивания стабилен. Извлеките фильтр и закройте шторку.

Чтобы выключить весы, удерживайте клавишу «Mode off» пока на дисплее не появится индикация «OFF».

3. Вставить фильтр в патрон, не присоединяя к пылевой камере. Включить тумблер «Аспиратор» и вращением ручки вентиля ротаметра 7, к которому подсоединен патрон с фильтром, установить скорость прохождения воздуха 15 л/мин. Вентили трех других ротаметров должны быть закрыты. Отключить тумблер аспиратора.

4. Подсоединить взвешенный фильтр к пылевой камере с помощью пробоотборной трубки 4.

5. Включить тумблер «Вентилятор», в результате чего в камере создается запыленная среда.

6. Включить аспиратор на 5 мин по секундомеру и произвести отбор пробы воздуха.

7. Установку отключить от электросети, для чего тумблеры поставить в положение «Выкл.».

8. Достать фильтр из патрона и взвесить его.

9. Запыленность воздуха определить из выражения

$$C = \frac{(g_2 - g_1) \cdot 1000}{v \cdot t}, \quad (6.1)$$

где g_2 – масса фильтра с пробой, мг; g_1 – масса чистого фильтра, мг; v – скорость отбора пробы, л/мин; t – продолжительность отбора пробы, мин.

Результаты замеров заносятся в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Результаты определения запыленности воздуха

Масса фильтра, мг		Продолжительность отбора t , мин	Показания ротаметра v , л/мин	Объем воздуха, m^3	Концентрация пыли, mg/m^3		
начальная	конечная				фактическая	ПДК	нижний предел воспламенения

Полученные результаты сопоставить с нормами «Перечень регламентируемых в воздухе рабочей зоны вредных веществ» (табл. 6.1) и нижним концентрационным пределом воспламенения (если пыль горючая по табл. 6.2). Сделать вывод.

2.2.2. Определение дисперсного состава пылей

Недостатком аспирационного, да и других существующих методов является то, что они не могут дать полной гигиенической оценки пыли. Одно и то же массовое содержание пыли может быть при наличии в воздухе как небольшого количества крупных частиц, так и множества мелких. Однако поведение пыли в воздухе и действие ее на организм в зависимости от дисперсности совершенно различны.

Характер опасности пыли в зависимости от ее дисперсного состава представлен на рис. 6.2.



Рис. 6.2. Задержка пылевых частиц в легких в зависимости от дисперсного состава пыли

Как видно из рис. 6.2, частицы пыли размером 10–12 мкм практически не поступают в легкие и, следовательно, не представляют собой опасности. Максимальная задержка пыли в легких наблюдается для размеров частиц 1–2 мкм.

Поэтому данные о массовом содержании пыли в воздухе должны быть дополнены определением ее дисперсности. Для характеристики

дисперсности пыли определяют процентное содержание частиц, имеющих размеры до 2 мкм, от 2 до 5 мкм, от 5 до 10 мкм и больше 10 мкм.

Подготовка препаратов методом просветления заключается в следующем. Фильтры АФА, использованные ранее для определения массового содержания пыли в воздухе, укладывают фильтрующей поверхностью на предметное стекло и препарат держат в течение нескольких минут над парами ацетона, подогреваемого на водяной бане, спиртовой или газовой горелке. Ткань фильтра расплавляется, приобретая вид прозрачной пленки, в которой под микроскопом хорошо видны фиксированные пылевые частицы.

Определение дисперсности методом микроскопии проводится с помощью окулярного микрометра (рис. 6.3). Он представляет собой линейку, нанесенную на стекле округлой формы, диаметр которого соответствует внутреннему диаметру трубки окуляра микроскопа.

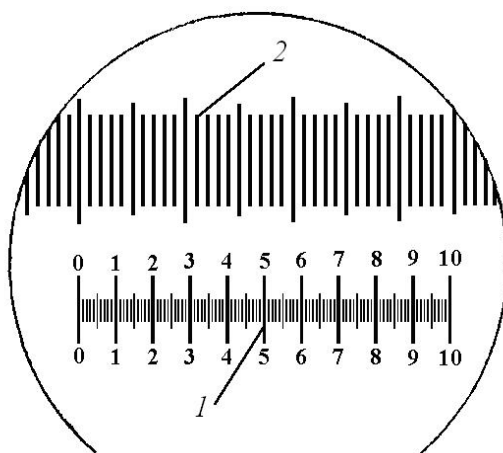


Рис. 6.3. Измерение величины
окулярной микрометрической линейки:
1 – окулярная микрометрическая линейка;
2 – объектив-микрометр

Перед определением размеров пылевых частиц предварительно определяют цену деления линейки с помощью объектива-микрометра 2. Он представляет собой закрепленный в металлической пластинке стеклянный круг, на поверхности которого нанесены линии с интервалом в 10 мкм (всего на расстоянии 1 мм нанесено 100 линий). Объектив-микрометр помещают на оптический столик микроскопа и находят указанные линии под малым увеличением, центруют в поле зрения, после чего переводят под большое увеличение или иммерсию. Далее извлекают окуляр микроскопа, снимают верхнюю крышку, помещают в него окулярную микрометрическую линейку,

закрывают крышку окуляра и устанавливают его в микроскоп. После чего совмещают линии объектива-микрометра с краем окулярной микрометрической линейки так, как это показано на рис. 6.3, и высчитывают цену делений линейки.

Далее пылевой препарат устанавливают на столик микроскопа вместе с объективом-микрометром и производят измерения при тех оптических условиях, при которых определена цена делений окулярного микрометра. Для этого подводят по очереди каждую пылинку подряд без выбора под линейку, определяя размер у 25–30 пылинок по наибольшему их диаметру. Результаты отмечают каким-либо знаком в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Результаты определения дисперсного состава пыли

Величина пылинок, мкм	До 2	От 2 до 5	От 5 до 10	Больше 10	Всего пылинок	Средний диаметр
Количество пылинок						
Процентное содержание					100	

Пользуясь графиком (рис. 6.2), определяют возможную задержку исследуемой пыли в легких человека.

2.2.3. Определение морфологии частиц пыли

Морфологические особенности частиц изучают методом обычной микроскопии на тех же препаратах, которые использовались для определения дисперсности пыли. При этом описывают форму частиц (округлая, неправильная, игло- или овальнообразная и т. д.), их процентное соотношение в пыли, характер поверхности, наличие волокнистых структур, конгломератов частиц, различных включений и др. Морфологическая оценка позволяет сделать выводы об устойчивости аэрозоля, вещественном составе пыли, их происхождении и возможном воздействии на организм человека.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляют собой промышленные пыли (аэрозоли)?
2. Как классифицируются промышленные пыли?
3. Какие характеристики пыли Вы знаете?
4. Как воздействуют пыли на организм человека и от каких факторов зависит степень их воздействия?

5. Что такое ПДК пыли в воздухе рабочей зоны?
6. Какие мероприятия по борьбе с пылью можно предложить в общем случае и для конкретного производства (по специальности)?
7. Что такое горючая пыль? Ее виды.
8. Как подразделяются промышленные пыли по взрываемости?
9. Какие существуют методы отбора проб пыли из воздуха рабочей зоны?
10. Назовите показатели пожаровзрывоопасности пылей.
11. Что такое морфология частиц и каковы методы ее исследования?

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования: ГОСТ 12.1.041-83. – Введ. 01.07.84. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 16 с.
2. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ». – Введ. 01.07.09. – Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2009. – 148 с.

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И НОРМИРОВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель работы: ознакомиться с требованиями, предъявляемыми к качеству воздуха рабочей зоны, методами и приборами газового анализа; выполнить практические замеры концентраций газов и паров в воздухе производственных помещений и сравнить их с санитарными нормами.

Приборы и оборудование: УГ-2, ГХ-4, ПГФ 2М1-ИЗГ.

1. Общие положения

Человек в состоянии покоя за 1 мин вдыхает 6–8 л воздуха, при работе этот объем увеличивается и может достигать 100–120 л/мин. Поэтому присутствие даже небольших количеств вредных веществ в воздухе рабочей зоны может привести к отравлениям и заболеваниям. Пары и газы, возникающие в производственном процессе и при хранении химических веществ, могут проникать в организм человека через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, неповрежденную кожу и при этом воздействовать на его ткани и биохимические системы, вызывая нарушения процессов нормальной жизнедеятельности.

Вредные вещества – вещества, которые при контакте с организмом человека могут вызвать профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе воздействия вещества, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Вредные вещества могут поступать в организм человека тремя путями: *через легкие, желудочно-кишечный тракт и неповрежденный кожный покров*. Через дыхательные пути вредные вещества проникают в организм в виде паров, газов и пыли; через желудочно-кишечный тракт – чаще всего с загрязненных рук, но также и вследствие заглатывания пыли, паров, газов; через кожу проникают органические химические вещества преимущественно жидкой, маслянистой и тестообразной консистенции.

С биологической точки зрения весьма важно знать возможные пути проникновения вредных веществ в организм. От этого зависит эффект их воздействия.

Наиболее опасным путем попадания вредных веществ в организм являются органы дыхания. Поверхность легочных альвеол при среднем их растяжении равна $90-100 \text{ м}^2$, толщина же альвеолярных мембран колеблется в пределах $0,004-0,01 \text{ мм}$, поэтому в легких создаются благоприятные условия для проникания газов, паров и пыли в кровь без каких-либо химических превращений под действием защитных реакций организма.

Через неповрежденный кожный покров могут проникать химические вещества, которые хорошо растворяются в жирах (углеводороды ароматического и жирного ряда, их производные, металлоорганические соединения и др.).

Количество вредных веществ, которое может проникнуть через кожу, находится в прямой зависимости от их растворимости, величины поверхности соприкосновения с кожей и скорости кровотока.

Проникновение через кожу – менее опасный путь отравления организма, поскольку всасывание вещества через кожу идет достаточно медленно, а, кроме того, кровь, в которую попали эти вещества, вначале проходит печень, а затем уже направляется к жизненно важным органам, т. е. таким образом частично вредные вещества могут быть выведены из организма.

В производственных условиях поступление вредных веществ в организм через желудочно-кишечный тракт наблюдается сравнительно редко. В желудочно-кишечном тракте по сравнению с легкими условия всасывания веществ затруднены. Это объясняется тем, что, во-первых, желудочно-кишечный тракт имеет относительно небольшую поверхность; во-вторых, кислая среда желудочного сока может изменить химические вещества, превратив их в менее токсичные; в-третьих, вещества, всосавшиеся в кровь, проходят вначале через печень, где частично могут задерживаться и выводиться из организма.

В практической работе знание путей поступления вредных веществ в организм определяет меры профилактики отравления.

*По распределению в тканях и прониканию в клетки химические вещества можно разделить на две основные группы: **неэлектролиты** и **электролиты**.*

Неэлектролиты, растворяющиеся в жирах и липоидах, способны в большом количестве и достаточно быстро проникать в клетку, а потому наиболее опасны для человека.

Распределение неэлектролитов в организме определяется в основном условиями кровоснабжения органов и тканей. Органы и ткани, имеющие богатую кровеносную систему (мозг, например), насыща-

ются неэлектролитами быстрее всего. Однако при прекращении поступления их в организм эти органы и ткани быстрее всего освобождаются от токсических веществ. В конечном счете неэлектролиты после прекращения поступления их в организм распределяются во всех тканях равномерно.

Способность электролитов проникать в клетку резко ограничена и зависит от заряда поверхностного слоя клетки. Если поверхность клетки заряжена отрицательно, она не пропускает анионов, а при положительном заряде она не пропускает катионов.

К особенностям распределения в организме электролитов относится, прежде всего, их способность быстро удаляться из крови и, накапливаясь в отдельных органах, образовывать в организме «депо». Так, для свинца и фтора «депо» образуется в костях, для ртути – в печени и почках, для марганца – в печени.

Поступившие в организм вредные вещества подвергаются под действием защитных реакций разнообразным превращениям.

Почти все органические и неорганические вещества подвергаются превращениям путем различных химических реакций (окисления, восстановления, гидролиза и т. д.). Не подвергаются превращениям лишь химически инертные вещества, как, например, бензин, выделяющийся из организма в неизмененном виде.

Результатом превращения вредных веществ в организме большей частью является их обезвреживание, поскольку вновь образующиеся продукты менее токсичны. Однако имеются исключения из этого общего правила, когда в результате превращений образуются более токсичные вещества. Например, метиловый спирт окисляется в организме до формальдегида и муравьиной кислоты; ацетат гидролизуется и расщепляется на метиловый спирт и уксусную кислоту.

Из организма вредные вещества могут выделяться через легкие, почки, желудочно-кишечный тракт, кожу. Через легкие выделяются летучие вещества, не изменяющиеся или медленно изменяющиеся в организме (бензин, бензол, хлороформ, этиловый эфир и др.).

Через почки выделяются хорошо растворимые в воде вещества и продукты их превращения в организме. Плохо растворимые вещества, например тяжелые металлы – свинец, ртуть, марганец и другие, выделяются через почки медленно.

Через желудочно-кишечный тракт выделяются плохо растворимые или нерастворимые вещества – свинец, ртуть, марганец, сурьма и др.

Через кожу сальными железами выделяются все растворимые в жирах вещества.

Все производственные вредные вещества оказывают общее действие на организм. При этом для ряда токсических веществ характерно преимущественное действие в точке своего приложения (кислоты, щелочи), другие же оказывают резорбтивное воздействие (действие после всасывания в кровь).

Некоторые вещества кроме общего оказывают избирательное действие по отношению к тем или иным органам и системам. Окись углерода, например, обладает высоким сродством к гемоглобину, образуя с ним карбоксигемоглобин. Избирательным воздействием на гемоглобин обладают также нитро- и аминопроизводные бензола и его гомологов, образуя метгемоглобин.

Многие производственные яды являются химическими аллергенами, способными вызывать аллергические реакции: дерматит, бронхиальную астму, крапивницу и т. д.

В производственных условиях довольно часто происходит комбинированное действие на организм двух или нескольких веществ одновременно. Возможны три основных типа комбинированного действия химических веществ: **синергизм** – когда одно вещество усиливает действие другого вещества; **антагонизм** – когда одно вещество ослабляет действие другого; **суммация** (аддитивное действие) – когда действие веществ суммируется.

В большинстве случаев производственные яды в сочетании действуют по типу суммации.

Некоторые вещества, попадая в организм человека, могут накапливаться в нем, вызывая развитие опухолей. Такие вещества называются **канцерогенами**.

Наиболее распространенными и поэтому представляющими наибольшую опасность считаются химические канцерогенные вещества. Однако при соответствующих условиях (мощность дозы, длительность облучения) возможны заболевания раком кожи от воздействия рентгеновских и γ -лучей.

Таким образом, *по характеру воздействия на организм человека* вредные вещества подразделяются на шесть групп:

- **общетоксические** – вызывающие общее поражение организма (оксид углерода, цианистые соединения, ртуть, свинец, мышьяк и др.);
- **раздражающие** – поражающие поверхность тканей дыхательного тракта и слизистые оболочки (аммиак, хлор, ацетон, оксиды азота и др.);
- **сенсibiliзирующие** – вызывающие повышение реактивной способности организма, его клеток и тканей на внешнее раздражение,

проявляющееся в аллергических реакциях организма (формальдегид, растворители и лаки на основе нитро- и нитрозосоединений и др.);

- **мутагенные** – воздействующие на генетический аппарат клетки (свинец, радиоактивные вещества и др.);

- **канцерогенные** – вызывающие образование в организме злокачественных опухолей (асбест, никель, окислы хрома и др.);

- **влияющие на репродуктивную функцию организма** (ртуть, марганец, свинец, стирол и др.).

При неправильной с гигиенической точки зрения организации труда и отсутствии специальных мер профилактики вредные вещества могут вызвать профессиональные отравления. По характеру возникновения и течения они делятся на острые и хронические.

Острые профессиональные отравления возникают за короткий срок, не более одной смены, часто мгновенно, при вдыхании больших концентраций паров или газов.

Хронические отравления происходят при вдыхании малых концентраций ядов в течение длительного времени, при этом симптомы отравления нарастают постепенно. Хронические отравления возникают либо вследствие постепенного накопления в организме самого яда (материальная кумуляция), либо, что бывает чаще, в результате суммирования изменений в организме, вызванных воздействием яда (функциональная кумуляция).

Наконец, производственные яды, помимо острого или хронического отравления, могут оказывать так называемое общее, неспецифическое действие – понижение общей неспецифической сопротивляемости другим вредным воздействиям, в частности инфекциям.

При любой форме отравления характер действия вредного вещества определяется степенью его физиологической активности – **токсичностью**.

Токсичность вещества зависит от ряда факторов: его состава и строения, физико-химических свойств и агрегатного состояния, концентрации в воздухе, путей проникновения в организм, продолжительности действия, дозы, а также от особенностей состояния организма человека.

Чем выше дисперсность, тем легче проникают вещества в организм и тем сильнее их вредное действие. С увеличением растворимости веществ в воде и жирах возрастает их токсичность.

Действие ядовитого вещества на организм может быть **местным** и **общим**. Типичным местным действием обладают газы и пары, вызывающие раздражение слизистых оболочек носа, горла, бронхов (пощипывание, сухой кашель и др.) и глаз (резь, боль, слезотечение).

Большинство промышленных ядов обладает **резорбтивным** действием, проявляя свою токсичность после всасывания в кровь.

Для оценки вредности химических веществ в воздухе рабочей зоны устанавливаются предельно допустимые концентрации (ПДК).

Предельно допустимая концентрация – концентрация вредного вещества, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч и не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должна вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

При отсутствии утвержденного значения ПДК временно можно пользоваться величиной ОБУВ (ориентировочно безопасного уровня воздействия).

ОБУВ устанавливается, как правило, на период, предшествующий проектированию производства. Он рассчитывается исходя из физико-химических свойств веществ или путем интерполяций и экстраполяций в рядах, близких по строению соединений, или по показателям острой опасности. ОБУВ должны пересчитываться через два года после утверждения или заменяться ПДК с учетом накопленных данных о соотношении здоровья работающих с условиями труда. ОБУВ не должны применяться при проектировании производства.

По степени воздействия на организм человека вредные вещества согласно ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» подразделяются на 4 класса:

1 – **вещества чрезвычайно опасные** (ванадий и его соединения, оксид кадмия, карбонил никеля, озон, ртуть, свинец и его соединения, терефталевая кислота, тетраэтилсвинец, фосфор желтый и др.);

2 – **вещества высокоопасные** (оксиды азота, дихлорэтан, карбофос, марганец, медь, мышьяковистый водород, пиридин, серная и соляная кислоты, сероводород, сероуглерод, тиурам, формальдегид, фтористый водород, хлор, растворы едких щелочей и др.);

3 – **вещества умеренно опасные** (камфара, капролактамы, ксилол, нитрофоска, полиэтилен низкого давления, сернистый ангидрид, спирт метиловый, толуол, фенол, фурфурол и др.);

4 – **вещества малоопасные** (аммиак, ацетон, бензин, керосин, нафталин, скипидар, спирт этиловый, оксид углерода, уайт-спирит, доломит, известняк, магнезит и др.).

Класс опасности вредных веществ устанавливают в зависимости от норм и показателей, указанных в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Показатели токсичности вредных веществ

Наименование показателя	Норма для класса опасности			
	1	2	3	4
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Менее 0,1	0,1–1,0	1,1–10,0	Более 10,0
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	Менее 15	15–150	151–5 000	Более 5 000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	Менее 100	100–500	501–2 500	Более 2 500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м ³	Менее 500	500–5 000	5 001–50 000	Более 50 000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	Более 300	300–30	29–3	Менее 3
Зона острого действия	Менее 6,0	6,0–18,0	18,1–54,0	Более 54,0
Зона хронического действия	Более 10,0	10,0–5,0	4,9–2,5	Менее 2,5

Отнесение вредного вещества к классу опасности производят по показателю, значение которого является максимальным.

Средняя смертельная доза при введении в желудок – доза вещества, вызывающая гибель 50% животных при однократном введении в желудок.

Средняя смертельная доза при нанесении на кожу – доза вещества, вызывающая гибель 50% животных при однократном нанесении на кожу.

Средняя смертельная концентрация в воздухе – концентрация вещества, вызывающая гибель 50% животных при двух-четырёх-часовом ингаляционном воздействии.

Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО) – отношение максимально достижимой концентрации вредного вещества в воздухе при 20°C к средней смертельной концентрации вещества для мышей.

Зона острого действия – отношение средней смертельной концентрации вредного вещества к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций.

Зона хронического действия – отношение минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций, к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей вредное действие в хроническом эксперименте по 4 ч, пять раз в неделю на протяжении не менее четырех месяцев.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений должно соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям, приведенным в Санитарных нормах, правилах и гигиенических нормативах «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ», утвержденных Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 240 от 31 декабря 2008 г.

Санитарные нормы устанавливают величины предельно допустимых концентраций (ПДК), ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, предельно допустимые уровни (ПДУ) загрязнения кожных покровов работников вредными веществами.

Предельно допустимое содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны регламентируется на рабочих местах независимо от их расположения – в производственных помещениях, в горных выработках, на открытых площадках, транспортных средствах для обеспечения производственного контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия вредных веществ на здоровье работников.

Рабочая зона – пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, где находятся места постоянного или временного (непостоянного) пребывания работников. На постоянном рабочем месте работник находится большую часть своего рабочего времени (более 50% или более 2 ч непрерывно); при выполнении работ в различных пунктах рабочей зоны постоянным рабочим местом считается вся рабочая зона.

Фактическая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны не должна превышать ПДК. Воздействие вредного вещества на уровне ПДК не исключает нарушение состояния здоровья у лиц с повышенной чувствительностью. ПДК устанавливаются в виде максимально разовых (ПДК_{м.р}) и среднесменных гигиенических нормативов (ПДК_{с.с}). Для веществ, способных вызывать преимущественно хронические интоксикации (фиброгенные пыли, аэрозоли дезинтеграции

металлов и др.), устанавливаются среднесменные ПДК, для веществ с остронаправленным токсическим эффектом (ферментные, раздражающие яды и др.) устанавливаются максимальные разовые концентрации; для веществ, при воздействии которых возможно развитие как хронических, так и острых интоксикаций, устанавливаются наряду с максимально разовыми и среднесменные ПДК.

Среднесменная ПДК – средняя концентрация, полученная при непрерывном или прерывистом отборе проб воздуха при суммарном времени не менее 75% продолжительности рабочей смены, или концентрация средневзвешенная во времени длительности всей смены в зоне дыхания работников на местах постоянного или временного их пребывания.

Величины ПДК и другие физико-химические свойства некоторых веществ приведены в табл. 7.2.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ *разнонаправленного действия* величины гигиенических нормативов остаются такими же, как и при изолированном действии.

Таблица 7.2

Физико-химические свойства некоторых химических веществ

Наименование вещества	Молекулярная масса	Концентрационные пределы распространения пламени, % об.		ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Класс опасности
		нижний	верхний		
Аммиак	17	15	28	20	4
Ацетон	58	2,7	13	200	4
Бензин топливный	—	0,96	4,96	100	4
Бензол	78	1,43	7,1	5	2
Гексан	86	1,24	7,5	300	4
Диоксид азота	46	—	—	2	3
Диоксид серы	64	—	—	10	3
Ксилол	106	1,0	6,2	50	3
Оксид углерода	28	12,5	74	20	4
Сероводород	34	4,3	4,6	10	2
Скипидар	136	0,8	—	300	4
Толуол	92	1,27	6,8	50	3

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ *однаправленного действия* сумма отношений

фактических концентраций каждого из них (K_1, K_2, \dots, K_n) в воздухе к их ПДК ($\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$) не должна превышать единицы:

$$\frac{K_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{K_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{K_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1. \quad (7.1)$$

Контроль содержания вредных веществ в воздухе проводится при характерных производственных условиях с отбором проб в зоне дыхания на рабочих местах постоянного и временного пребывания работников. При наличии идентичного оборудования или выполнении одинаковых операций контроль проводится выборочно на отдельных рабочих местах, расположенных в центре и на периферии помещения.

Содержание вредного вещества в данной конкретной точке определяется следующим суммарным временем отбора проб: для токсических веществ – не менее 15 минут, для веществ преимущественно фиброгенного действия – 30 минут. За данный период времени может быть отобрана одна или несколько последовательных проб через равные промежутки времени. Результаты, полученные при однократном отборе или при усреднении последовательно отобранных проб, сравнивают с величинами максимально разовой ПДК.

В течение смены и (или) на отдельных этапах технологического процесса в одной точке должно быть последовательно отобрано не менее двух проб. Для аэрозолей преимущественно фиброгенного действия допускается отбор одной пробы.

При возможном поступлении в воздух рабочей зоны вредных веществ с остронаправленным механизмом действия должен быть обеспечен непрерывный контроль с сигнализацией о превышении ПДК.

Периодичность контроля определяется в зависимости от класса опасности вредного вещества, характера технологического процесса (непрерывный, периодический) и устанавливается: для I класса – не реже 1 раза в 10 дней, II класса – не реже 1 раза в месяц, III и IV классов – не реже 1 раза в квартал.

После реконструкции, модернизации, увеличения объема производства, капитального ремонта, внедрения новых технологий, сырья и химических веществ, при возникновении (или после) аварийных ситуаций, а также при расследовании случаев профессиональных заболеваний, отравлений, контроль воздуха рабочей зоны осуществляется в обязательном порядке.

Среднесменные концентрации определяют для веществ, для которых установлен гигиенический норматив – $\text{ПДК}_{с.с.}$. Измерения проводят приборами индивидуального контроля или по результатам отдельных измерений с расчетом средневзвешенной во времени величини

ны, с учетом пребывания работника на всех (в том числе и вне контакта с контролируемым веществом) стадиях и операциях технологического процесса. Обследование осуществляется на протяжении не менее чем 75% продолжительности смены в течение не менее 3 смен. Расчет проводится по формуле

$$K_{с.с} = \frac{K_1 \cdot t_1 + K_2 \cdot t_2 + \dots + K_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}, \quad (7.2)$$

где $K_{с.с}$ – среднесменная концентрация, мг/м³; K_1, K_2, \dots, K_n – средние арифметические величины отдельных измерений концентраций вредного вещества на отдельных стадиях (операциях) технологического процесса, мг/м³; t_1, t_2, \dots, t_n – продолжительность отдельных стадий (операций) технологического процесса, мин.

Периодичность контроля за соблюдением среднесменной ПДК должна быть не реже одного раза в год.

Предельно допустимый уровень загрязнения кожи (ПДУ) вредными веществами устанавливается для поверхности кожных покровов рук работников в миллиграммах на сантиметр квадратный (мг/см²).

Контроль загрязнения кожи осуществляют во время технологических процессов и операций при наибольшем контакте работников с вредными веществами не менее 3-х раз в смену в соответствии с действующими техническими нормативными правовыми актами.

Периодичность контроля за соблюдением ПДУ загрязнения кожи должна соответствовать кратности контроля ПДК максимально разовых для воздуха рабочей зоны.

Значения ПДУ загрязнения кожи рук работающих для некоторых вредных веществ представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

**ПДУ загрязнения кожных покровов рук работающих
с вредными веществами**

Наименование веществ	ПДУ, мг/см ²
Бензол	0,05
Жирные спирты фракции C ₅ –C ₁₀	0,2
Ксилол	1,75
Метанол	0,02
Нитробензол	2,4
Сурьма	0,001/по сурьме
Толуидин	0,7
Толуол	0,05
Хлорбензол	0,8
Циклогексанон	1,5

Для контроля воздушной среды применяются лабораторные, индикационные и экспресс-методы. Существуют также автоматические приборы контроля газовой среды.

Лабораторные методы очень точны и дают возможность определить микроколичества токсичных веществ в воздухе. При применении этого метода берется проба воздуха в производственном помещении и анализируется в лаборатории. Однако такие методы требуют значительного времени и применяются главным образом в исследовательских работах. Для этой цели используют различные методы химического (объемные и весовые) и физико-химического (фотоколориметрия, спектроскопия, кулонометрия, хроматография, полярография и др.) анализа.

Индикационные методы отличаются простотой, с их помощью можно быстро определить качественный состав загрязнителей. Индикационные методы применяются, когда нежелательно присутствие токсичных веществ даже в малых концентрациях, а при их наличии требуются особые срочные меры (пуск аварийной вентиляции, нейтрализация загазованного участка, применение средств индивидуальной защиты и т. д.). Однако количественное определение токсичных веществ в воздухе при помощи индикационных методов можно проинформировать весьма ориентировочно.

В основу индикационных методов положены цветные реакции между загрязненным воздухом и поглотительным раствором или реактивной бумажкой. По интенсивности окрашивания поглотителя можно ориентировочно судить о концентрации определяемого вещества в воздухе. Так, бумажка, пропитанная уксуснокислым свинцом, чернеет в присутствии следов сероводорода; бумажка, пропитанная парами диметиламинобензоальдегида (бумажка Прокофьева), краснеет в присутствии следов фосгена и т. д.

Экспресс-методы служат для качественного и количественного определения концентрации вредных паров и газов непосредственно в рабочей зоне. Для проведения контроля экспресс-методами применяются газоанализаторы марок УГ, химический газоопределятель ГХ, газоанализатор типа ПГФ 2М1-ИЗГ и др.

Экспресс-методы преимущественно основаны на получении цветной реакции при взаимодействии определяемого вещества с твердым сорбентом – индикаторным порошком, помещенным в узенькую стеклянную трубку. При просасывании загрязненного воздуха через трубку индикаторный порошок окрашивается на определенную длину, по величине которой судят о концентрации определяемого веще-

ства. Основные положения линейно-колористического метода реализованы в газоанализаторах УГ-1 и УГ-2.

Автоматические газоанализаторы непрерывного действия осуществляют обычно непрерывную регистрацию уровня загазованности на диаграммной ленте. Газоанализаторы могут обладать различной чувствительностью. Газоанализаторы, настроенные на уровни ПДК или показатели взрывоопасности, при достижении соответствующей концентрации дают световой или звуковой сигнал, автоматически включают вентиляцию и т. п. Такие приборы называются **газосигнализаторами**.

К газосигнализаторам взрывоопасных газов и паров относятся «Сигма-1», «Сигнал-02», «Сигма-1Б» (для паров бензина), ГСА-2, ХОББИТ-Т-Cl₂ (хлор), ХОББИТ-Т-NH₃ (аммиак), ХОББИТ-Т-CO (угарный газ), ОКА-МТ-2 и ОКА-МТ (горючие газы) и др.

Из стационарных автоматических газосигнализаторов, определяющих концентрации горючих газов, паров и их смесей с воздухом, следует отметить следующие: СГП-1 ХЛЧ (горючие пары нефти и нефтепродуктов); СДК-2 (органические вещества и их смеси); СВИ-4 (аммиак, ацетон, бензин, бензол, сероводород, стирол) и многие другие.

Для определения и сигнализации о превышении ПДК токсичных веществ используются газоанализаторы следующих марок: ФКГ-3М (хлор); ФЛС (сероводород, аммиак, фосген, синильная кислота); ФЛ-550 1М (озон, диоксид азота, сероводород, аммиак, хлор, сернистый газ); ГМК-3 (оксид углерода); ГКП-1 (сернистый ангидрид); ФК (оксиды азота, фтористый водород) и др.

На предприятиях, производственная деятельность которых связана с вредными веществами, должны быть разработаны нормативно-технические документы по безопасности труда при производстве, применении и хранении вредных веществ; выполнены комплексы организационно-технических, санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий.

Мероприятия по обеспечению безопасности труда при контакте с вредными веществами должны предусматривать:

- замену вредных веществ менее вредными (например, ограничение применения бензола, дихлорэтана, четыреххлористого углерода в рецептуре лаков и красок; замена ртутных контрольно-измерительных приборов безртутными и т. д.);
- гигиеническую стандартизацию химического сырья и продукции (например, ограничение содержания мышьяка в серной кислоте, ароматических углеводородов в бензинах, метилового спирта, фурфурола в гидролизном или сульфитном спирту и т. д.);

- рационализацию технологического процесса, аппаратуры и оборудования (например, комплексная механизация и автоматизация процессов с вредными условиями труда, замена периодических процессов непрерывными, исключение операций, связанных с загрязнением воздушной среды вредными веществами, систематическое проведение текущего, планово-предупредительного и капитального ремонта оборудования и т. д.);

- в деле борьбы с производственными отравлениями важное значение имеют такие санитарно-технические мероприятия, как планировка цехов и оборудования, исключающая поступление газов, паров, пыли из одного помещения в другое; выбор материалов для стен и потолков, не сорбирующих вредные вещества; применение вентиляционной техники и т. д.;

- в тех случаях, когда технические и санитарно-технические мероприятия не ликвидируют полностью воздействие вредных веществ на организм, необходима индивидуальная защита органов дыхания, зрения и кожи;

- обязательным требованием для работающих во вредных условиях является соблюдение установленного режима труда и отдыха, предоставление специального питания, дополнительного отпуска, обучение безопасным методам работы и профилактическое медицинское обследование.

Мероприятия по профилактике заболеваний, возникающих при воздействии пыли, можно разделить на три группы: технологические и технические; санитарно-технические; медико-профилактические.

Технические мероприятия направлены на рационализацию производственного процесса, позволяющую в ряде случаев добиться полной ликвидации пылеобразования. К ним относятся, например, применение во время дробления, размола, смешивания пылеобразующих материалов увлажнения, замена в процессе очистки литья пескоструйных аппаратов на дробеструйные, периодической загрузки сыпучих материалов на непрерывную и т. д.

Санитарно-технические мероприятия включают в себя комплекс мер по подавлению пылеобразования, например, путем орошения зон выделения пыли распыленной водой или водяным паром, применения местных отсосов пыли в вентиляционные системы с последующей очисткой воздуха в пылеулавливающих аппаратах, общеобменной вентиляции и т. д.

Медико-профилактические мероприятия включают в себя периодические медицинские осмотры (при поступлении на работу, сис-

тематически в процессе работы через год или полгода в зависимости от свойств пыли) с целью выявления пневмокониозов на ранних стадиях их развития, устройство профилакториев для профилактики и лечения дыхательных путей работающих в условиях повышенной запыленности, применение средств индивидуальной защиты органов дыхания, систематический контроль за содержанием пыли в воздухе производственных помещений и некоторые другие мероприятия.

В данной работе производится определение концентрации вредных паров и газов экспресс-методом.

2. Экспериментальная часть

Для имитации помещений, содержащих газы и пары вредных веществ, в работе используются стеклянные емкости с соответствующими компонентами. Отбор проб и анализ воздуха из указанных сосудов производится с помощью следующего оборудования.

2.1. Универсальный переносной газоанализатор типа УГ-2

Газоанализатор УГ-2, устройство которого представлено на рис. 7.1, предназначен для определения в воздухе производственных помещений хлора, аммиака, сероводорода, оксида углерода, бензина, бензола, ксилола, ацетилена и других газов и паров.

Погрешность показаний газоанализатора составляет $\pm 10\%$ от верхнего предела каждой шкалы определяемого вещества.

В закрытой части корпуса 12 помещается резиновый сильфон 11 с двумя фланцами и стаканом, в котором находится пружина 10. Во внутренних гофрах сильфона установлены распорные кольца 9 для придания сильфону жесткости и сохранения постоянства объема. На верхней плате 4 имеется неподвижная втулка 6 для направления штока 7 при сжатии сильфона. На штуцере 2 с внутренней стороны надета резиновая трубка 1, которая вторым концом через нижний фланец соединяется с внутренней полостью сильфона. К свободному концу трубки 3 при анализе присоединяется индикаторная трубка и при необходимости фильтрующий патрон. Просасывание исследуемого воздуха через индикаторную трубку производится после предварительного сжатия сильфона штоком. На гранях (под головкой штока) обозначены объемы просасываемого при анализе воздуха. На цилиндрической поверхности штока имеются четыре продольные канавки, каждая с двумя углублениями 8, служащими для определения фикса-

ром 5 объема просасываемого воздуха. Расстояние между углублениями на канавках подобрано таким образом, чтобы при ходе штока от одного углубления до другого сильфон забирал необходимое для анализа данного газа количество исследуемого воздуха.

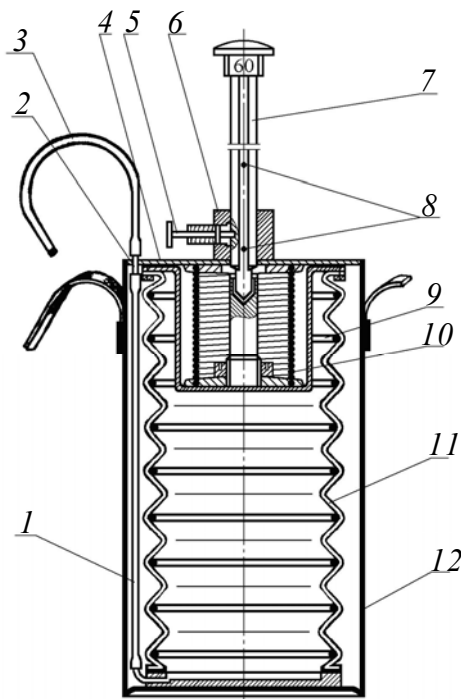


Рис. 7.1. Устройство газоанализатора:

- 1 – резиновая трубка; 2 – штуцер; 3 – трубка;
4 – верхняя плата; 5 – фиксатор;
6 – втулка; 7 – шток; 8 – канавка; 9 – распорное кольцо;
10 – пружина; 11 – резиновый сильфон; 12 – корпус

Перед началом определения концентрации примеси в воздухе необходимо приготовить индикаторные трубки с соответствующим поглотителем (в зависимости от того, концентрацию какого вещества планируется определять).

Индикаторная трубка представляет собой стеклянную трубку, заполненную индикаторным порошком. Приготавливается она следующим образом. В один из концов стеклянной трубки 2 (рис. 7.2) вставляют стержень 1, а в противоположный вкладывают прослойку из гигроскопической ваты 3 и штырьком 4 до соприкосновения с торцом стержня сжимают вату. При этом толщина прослойки из ваты не должна превышать 2,5 мм.

Затем вынимают стержень и через воронку с тонким концом 5 индикаторный порошок из ампулы 6, вскрытой перед самым применением, насыпают до края в открытый конец трубки.

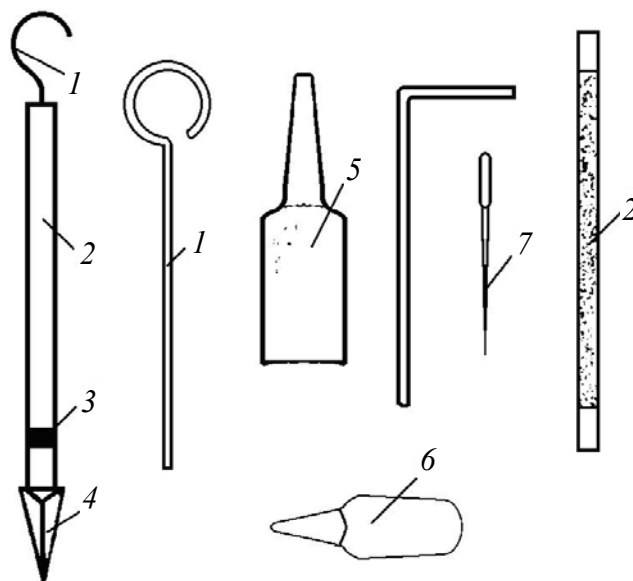


Рис. 7.2. Принадлежности для подготовки к работе индикаторной трубки:

1 – стержень; 2 – стеклянная трубка; 3 – вата; 4 – штырек;
5 – воронка; 6 – ампула с индикаторным порошком; 7 – крючок

Постукиванием по стенке трубки стержнем достигается уплотнение столбика порошка, после чего сверху столбика накладывают такую же прослойку из гигроскопической ваты.

Неплотное заполнение индикаторной трубки порошком способствует увеличению длины окрашенного столбика и размытости его границ. Длина уплотненного столбика порошка в трубке должна составлять 68–70 мм.

Для перезарядки использованных индикаторных трубок с помощью крючка 7 извлекают тампон и высыпают использованный индикаторный порошок в специальную коробку.

Дальнейшая подготовка прибора к измерению состоит в следующем:

- выбирается специальная шкала (рис. 7.3) для анализируемого вещества. На ней указаны объемы просасываемого воздуха. Измерения начинают с просасывания минимального объема анализируемого газа. Если индикаторная трубка не окрасится при таком объеме просасываемого воздуха, необходимо повторить измерение при максимальном объеме;

- из гнезда прибора вынимают четырехгранный шток 7 (рис. 7.1). Объем просасываемого воздуха указан под головкой штока. Выбранное значение объема просасываемого воздуха устанавливается в сторону стопора. Далее, оттягивая левой рукой стопор, нажимают на головку штока, топя его. При этом сильфон сжимается. Топят шток до

тех пор, пока верхнее углубление не дойдет до стопора 5. Шток фиксируется стопором и остается в этом положении;



Рис. 7.3. Шкала для определения концентрации вредных веществ (аммиака)

- затем индикаторную трубку вставляют в резиновую трубку 3;
- перед просасыванием воздуха через трубку слегка надавливают на головку штока, отводят стопор 5. Освобожденный шток под действием пружины 10 движется вверх. Стопор сразу же нужно отпустить. Когда нижнее углубление на канавке штока совпадет со стопором, последний со щелчком войдет в него и остановит шток.

Просасывание воздуха через индикаторную трубку необходимо проводить в течение времени, указанного на соответствующей шкале (рис. 7.3, общее время просасывания, в числителе – для минимального объема, в знаменателе – для максимального объема). После этого индикаторную трубку отсоединяют и накладывают на шкалу (рис. 7.3) для определения концентрации примеси (шкалу выбирают в зависимости от объема просасываемого воздуха). Индикаторную трубку размещают так, чтобы границы порошка в ней со стороны просасывания воздуха совпадали с нулевым делением шкалы. Деление на шкале напротив участка с изменившимся цветом порошка в индикаторной трубке укажет содержание (мг/м^3) исследуемой примеси в воздухе.

На шкалах к прибору приведены продолжительность хода штока и общее время просасывания воздуха через трубку, которые следует учитывать при исследовании воздуха.

Сводная таблица линейно-колористических определений примесей приведена в табл. 7.4.

Таблица 7.4

**Линейно-колористическое определение
токсичных паров и газов с помощью УГ-2**

Определяемое вещество	Цвет индикаторного порошка после анализа	Пределы определяемых концентраций, мг/м ³	Время определения, мин	Чувствительность метода, мг/м ³	Мешающие определению пары и газы
Хлор	Красный	2–60 25–300	5–6 3–4	2	Бром, йод, окислители, хлорамины
Аммиак	Синий	0–40 0–400	3 2	–	Пары кислот, щелочей и аминов
Сероводород	Коричневый	0–360	3–5	2	Меркаптаны
Оксид углерода	Коричневый (кольцо)	15–200 40–400	8 5	–	Карбонилы металлов
Бензин	Светло-коричневый	0–5 000 0–30 000	5 3	–	–
Бензол	Светло-зеленый	0–1 000	4	–	Толуол, ксилол и бензин
Ксилол	Красно-фиолетовый	5–500 200–2 000	4 3	50	Толуол, бензол
Ацетилен	Светло-коричневый	0–1 400 0–6 000	5 3	140	Сероводород, AsH ₃

Примечание. Для задержки веществ, мешающих определению, в ряде случаев применяют фильтрующий патрон.

2.2. Химический газоопределитель ГХ-4 (5)

Химический газоопределитель предназначен для прямого экспресс-определения концентраций оксида углерода, оксидов азота, сернистого газа, сероводорода, углекислого газа и других веществ в воздухе.

Общий вид прибора с принадлежностями показан на рис. 7.4. Газоопределитель ГХ-4 (5) представляет собой меховой насос-аспиратор АМ-5 1, предназначенный для просасывания анализируемого воздуха через индикаторные трубки, с набором готовых индикаторных трубок 2, являющихся его измерительной частью.

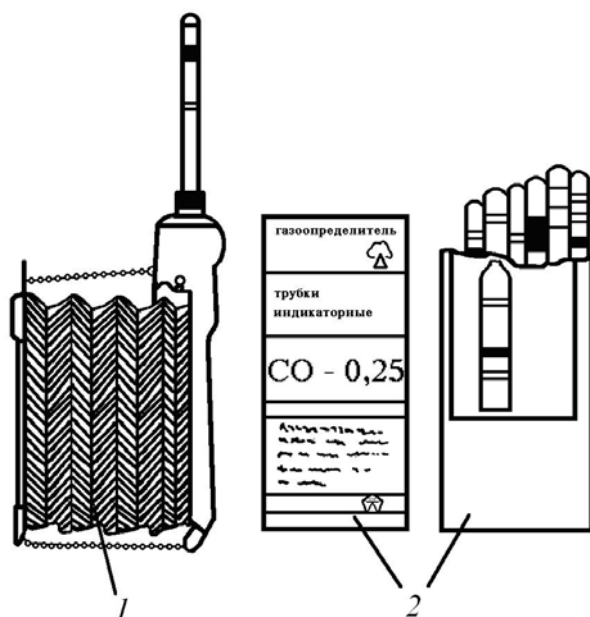


Рис. 7.4. Химический газоопределитель ГХ-4 (5):
 1 – аспиратор АМ-5 (в сборе с индикаторной трубкой);
 2 – набор готовых индикаторных трубок

Принцип действия газоопределителя основан на изменении окраски индикаторной массы в трубке при пропускании через нее газовой смеси, содержащей определяемый газ, и измерении его концентрации по длине изменившего окраску слоя индикаторного порошка.

Индикаторные трубки длиной 125 мм и наружным диаметром 7 мм заполняются специфичными на каждый определяемый газ реактивными порошками, концы трубок оттянуты и запаяны.

Аспиратор АМ-5 представляет собой ручной резиновый мех с объемом хода 100 мл. Внутри меха расположены пружины, удерживающие его в разжатом положении. Наружная часть пружины в подвеске имеет отверстие и служит для обламывания концов индикаторных трубок, а резиновая трубка – для их вставки. Выпускной клапан обеспечивает выход воздуха из меха при его сжатии.

В местах, где нужно определить концентрацию газов, вскрывают индикаторную трубку так, чтобы не нарушить прокладку и слой порошка. Запаянные концы трубок необходимо отламывать осторожно, во избежание попадания осколков в глаза, для чего необходимо держать аспиратор на расстоянии вытянутой руки, повернув голову в сторону. Индикаторную трубку плотно вставляют в резиновую трубку прибора. Стрелка на трубке при этом должна быть направлена к аспиратору. Сжимают резиновый мех до упора, а затем отпускают его. При этом исследуемый воздух просасывается

через индикаторную трубку. Если окрашенная часть индикаторного порошка не достигла первого деления, делают столько просасываний, чтобы можно было наиболее точно определить концентрацию примеси. При этом подсчитывают количество просасываний. После чего индикаторную трубку накладывают на шкалу для определения концентрации исследуемого газа, которая, как правило, помещена на обратной стороне коробки с индикаторными трубками. Концентрации указаны здесь в процентах на 1000 мл просасываемого воздуха. Если количество просасываний было больше или меньше 10 (т. е. больше или меньше того объема, на который градуирована шкала), пересчет концентрации производится по формуле

$$X = \frac{10 \cdot K}{n}, \quad (7.3)$$

где X – определяемая концентрация, % об.; K – концентрация по трубке, измеренная по шкале, % об.; n – количество ходов меха (количество просасываний).

В некоторых случаях в зависимости от свойств анализируемого газа и состава индикаторного порошка отбор пробы воздуха проводится в объемах 100 или 1000 мл (10 просасываний). В этом случае расчет концентрации производится в соответствии с формулой, приведенной на упаковке индикаторных трубок.

Пересчет концентраций газов в воздухе производственных помещений K_x , мг/м³, производится по формуле

$$K_x = \frac{X \cdot M \cdot 10^4}{V_T}, \quad (7.4)$$

где X – концентрация газа в воздухе, % об.; M – молекулярная масса газа, г; V_T – объем 1 грамм-молекулы газа при данных условиях, л.

Так как измерения проводятся в помещении лаборатории при постоянной температуре 18–20°C, то можно принять, что 1 грамм-молекула газа при нормальных условиях занимает объем 22,4 л. Таким образом, формула (7.4) примет вид

$$K_x = \frac{X \cdot M \cdot 10^4}{22,4}. \quad (7.5)$$

При окончательном расчете концентраций определяемого газа необходимо учесть значения поправочного коэффициента на величину атмосферного давления в соответствии с табл. 7.5.

Таблица 7.5

Значения поправочного коэффициента для корректировки показаний газоопределятеля в зависимости от атмосферного давления

Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	Поправочный коэффициент
91 (680)	1,09
92 (690)	1,07
93 (700)	1,06
95 (710)	1,04
96 (720)	1,02
97 (730)	1,01
99 (740)	1,00
100 (750)	0,98
101 (760)	0,97
103 (770)	0,96
104 (780)	0,95
105 (790)	0,93
107 (800)	0,92
108 (810)	0,91
109 (820)	0,90
111 (830)	0,89
112 (840)	0,88
113 (850)	0,87

2.3. Переносной газоанализатор типа ПГФ 2М1-ИЗГ

Для инструментального экспресс-анализа горючих газов в воздухе рабочих помещений, колодцах, химических аппаратах, газгольдерах и других замкнутых объемах используется переносной газоанализатор типа ПГФ во взрывозащищенном исполнении.

Газовая и электрическая схемы газоанализатора ПГФ 2М1-ИЗГ показаны на рис. 7.5.

Действие прибора основано на измерении сопротивления платиновой спирали в зависимости от ее температуры, которое может повышаться за счет тепла, выделяющегося при каталитическом окислении углеводородсодержащих газов в измерительной камере газоанализатора.

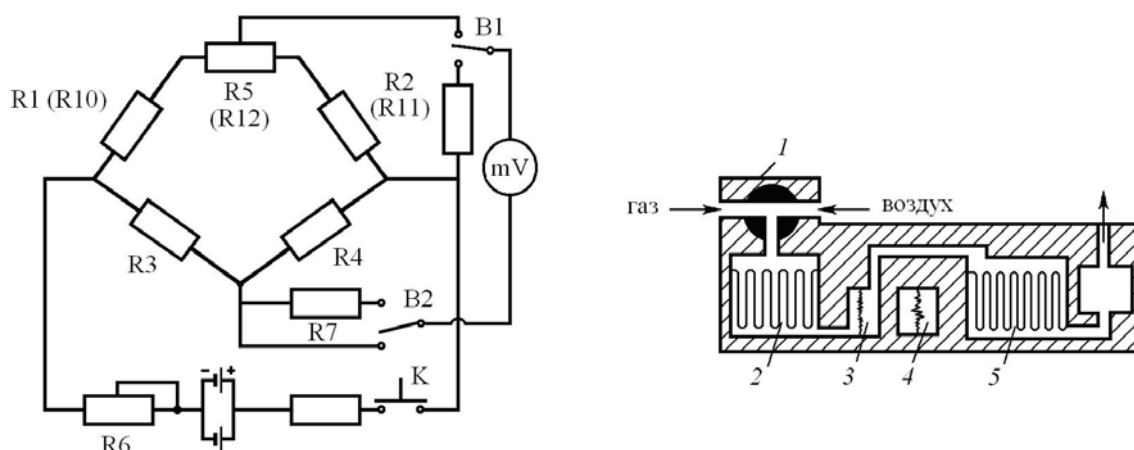


Рис. 7.5. Принципиальная электрическая и газовая схемы газоанализатора ПГФ 2М1-ИЗГ:

1 – трехходовый кран; 2, 5 – взрывозащитные устройства; 3 – камера рабочего плечевого элемента; 4 – камера сравнительного плечевого элемента

Электрическая схема газоанализатора представляет собой измерительный мостик, уравновешенный при отсутствии горючих газов.

В измерительную камеру 3 газоанализатора поршневым насосом, смонтированным в приборе, нагнетают анализируемую смесь воздуха с газом. При нажатии кнопки в цепи источника питания (батарея карманного фонаря) ток нагревает платиновую спираль, помещенную в измерительной камере. На этой спирали происходит сгорание анализируемой газовой смеси. За счет дополнительного нагрева от сгорания сопротивление платиновой спирали в камере 3 изменяется по сравнению с сопротивлением в камере 4. Это нарушает равновесие моста, и стрелка гальванометра отклоняется. Чем выше концентрация газа (пара), тем больше отклоняется стрелка гальванометра.

Правила пользования прибором изложены на внутренней стороне крышки. Там же приведены шкалы определений концентраций паров бензина, этанола и других веществ в миллиграммах на литр (под металлической частью крышки).

2.4. Порядок выполнения работы

1. Перед началом выполнения работы уточнить у преподавателя, какое вещество анализируется и с помощью какого прибора определяется его концентрация.

2. Если используется универсальный переносной газоанализатор УГ-2, то необходимо подготовить индикаторные трубки для анализа (смотри описание прибора). **Во избежание порчи одежды не до-**

пускать попадания на нее индикаторного порошка! Необходимый объем просасываемого воздуха и условия исследования выбрать из прилагаемых к прибору шкал на различные вещества. Концентрацию исследуемого газа определить по соответствующей шкале (смотри описание прибора). После выполнения работы использованные трубки вскрыть, индикаторный порошок высыпать в специальную посуду.

3. Если используется химический газоопределитель ГХ-4 (5), то концентрацию вредного вещества определить соответствующими индикаторными трубками по методике, изложенной в описании прибора, соблюдая осторожность при их вскрытии. Использованные трубки необходимо выбросить в урну.

4. Если используется переносной газоанализатор ПГФ 2М1-ИЗГ, то концентрацию вредного вещества определить в соответствии с методикой, приведенной на крышке прибора (смотри описание прибора). После окончания работы с газоанализатором необходимо его продуть чистым воздухом, сделав 4–5 просасываний поршнем насоса.

Полученные результаты занести в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Результаты исследований

Наименование газов и паров	Фактическая концентрация, мг/м ³			ПДК, мг/м ³	Нижний концентрационный предел распространения пламени		Верхний концентрационный предел распространения пламени	
	УГ-2	ГХ-4	ПГФ		% по объему	мг/м ³ при 20°C	% по объему	мг/м ³ при 20°C

По результатам исследования сопоставить полученные значения с ПДК и нижним концентрационным пределом распространения пламени, сделать соответствующие выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое вредные вещества и какими путями они поступают в организм человека?
2. Какое влияние на человека оказывают вредные вещества?
3. Как классифицируются вредные вещества по характеру воздействия на организм человека?
4. Что такое токсичность, от чего она зависит?
5. Что такое ПДК и ОБУВ? Их значение для профилактики отравлений и профзаболеваний.

6. Как подразделяются вредные вещества по степени воздействия на организм человека (степени токсичности)?

7. Какие существуют показатели токсичности? Их определение.

8. Какие требования предъявляются к качеству воздуха в производственных помещениях при наличии в нем примесей веществ однонаправленного и разнонаправленного действия?

9. Как нормируется содержание вредных веществ на кожном покрове работающих?

10. Как производится контроль состояния качества воздуха в рабочей зоне? Периодичность контроля.

11. Дайте характеристику используемых методов контроля воздушной среды.

12. Где и какие автоматические газоанализаторы используются на производстве?

13. Какие мероприятия используются на производстве для борьбы с загазованностью воздуха?

14. Устройство и принцип действия приборов УГ-2, ГХ-4 (5), ПГФ 2М1-ИЗГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности: ГОСТ 12.1.007-76. – Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 8 с.

2. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ». – Введ. 01.07.09. – Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2009. – 148 с.

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ И НОРМИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ ШУМА И ВИБРАЦИИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

Цель работы: ознакомиться с общими понятиями о звуке и вибрации и их воздействием на организм человека, нормативными материалами и приборами для проведения измерений; научиться определять фактические уровни шума и вибрации, а также производить оценку эффективности звукопоглощающих экранов и давать санитарно-гигиеническую оценку рабочего места.

Приборы и оборудование: лабораторная установка, шумомер ВШВ-003-М2, микрофон с разъемом, датчик ДН-3-М1 с разъемом.

1. Общие положения

1.1. Физические и физиологические характеристики шума и вибрации

В качестве звука мы воспринимаем упругие колебания среды – газа, жидкости и твердого тела, распространяющиеся волнообразно в воздухе. Упругие колебания в частотном диапазоне, воспринимаемом органом слуха человека, распространяющиеся в виде волн в газообразных средах или образующие в ограниченных областях этих сред стоячие волны, представляют собой **шум**. Звуки, распространяющиеся в воздухе, вызывают воздушный шум. При колебаниях, распространяющихся в твердых телах, возникает структурный шум. В твердых телах, имеющих конечные размеры, колебательный процесс проявляется в форме вибрации.

Процесс возникновения воздушного звука механического происхождения упрощенно можно представить с помощью колебания механического стержня. Если не зажатый конец стержня отклонить от положения равновесия и отпустить, он начнет совершать колебательные движения. Эти колебания вызовут смещение прилегающих к стержню частиц воздуха. Воздух является упругой средой, поэтому смещенные частицы под влиянием упругости будут снова возвращаться в свое исходное состояние, образуя при этом зоны уплотнения и разрежения с различной величиной давления. Такие уплотнения и разрежения по-

следовательно от частицы к частице распространяются в воздушной среде с определенной скоростью от источника возбуждения в виде звуковых волн. Скорость распространения звука в воздухе при температуре 20°C и нормальном атмосферном давлении равна 344 м/с.

Достигнув барабанной перепонки уха, звуковая волна вызывает ее колебания. Далее эти колебания воспринимаются слуховыми органами, передаются в слуховые центры головного мозга и создают ощущение звука.

Характер шума зависит от вида источника. Шум можно подразделить:

а) на **механический**, возникающий в результате движения отдельных деталей и узлов машины (особенно значительный при неисправности механизмов или механизмов с неуравновешенными массами и т. д.), например, работающие металлообрабатывающие станки;

б) **ударный**, возникающий при некоторых технологических процессах: ковке, штамповке, клепке;

в) **аэро(гидро)динамический**, возникающий при больших скоростях движения газов, паров, жидкости, например шум газовых струй реактивных двигателей, шум, возникающий при всасывании воздуха компрессорными установками, и др.

Основные физические характеристики звука: частота f (Гц), звуковое давление P (Па), интенсивность или сила звука I (Вт/м²), звуковая мощность ω (Вт). Частота – одна из основных характеристик, по которой мы различаем звук. **Частота колебаний** – это число полных колебаний за одну секунду. Частота колебаний, вызывающих слуховое ощущение звука, находится в пределах от 16 до 20 000 Гц. Ухо человека наиболее чувствительно к звукам частотой от 1000 до 3000 Гц. Наибольшая острота слуха наблюдается в возрасте 15–20 лет. С возрастом слух ухудшается. Колебания с частотой ниже 16 Гц называются **инфразвуком**, а свыше 20 000 Гц – **ультразвуком**. Инфразвук и ультразвук не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое действие на организм человека.

Звуковым давлением P называется переменная составляющая давления воздуха или газа, возникающая в результате звуковых колебаний.

Распространение звуковой волны сопровождается и переносом энергии. **Интенсивностью звука I** называется количество звуковой энергии, проходящее в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярную к направлению распространения звуковой волны.

Минимальная интенсивность звука, которая воспринимается ухом, называется **порогом слышимости**. В качестве стандартной час-

тоты сравнения принята частота 1000 Гц. При этой частоте порог слышимости $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², а соответствующее ему звуковое давление $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па. Максимальная интенсивность звука, при которой орган слуха начинает испытывать болевое ощущение, называется **порогом болевого ощущения**, равным 10^2 Вт/м², а соответствующее ему звуковое давление $P = 2 \cdot 10^2$ Па. Между порогом слышимости и болевым порогом лежит **область слышимости**.

Ухо человека реагирует не на абсолютное, а на относительное изменение интенсивности звука. При этом ощущения человека пропорциональны логарифму количества энергии шума.

Поэтому на практике для характеристики шума принято оценивать звуковое давление и интенсивность звука не в абсолютных, а в относительных единицах – белах (Б). Измеренные таким образом величины называются **уровнями**. Так как орган слуха человека способен различать изменения уровня интенсивности звука на 0,1 Б, то для практического использования применяется единица в 10 раз меньше – децибел (дБ).

Уровень звукового давления – выраженное в логарифмических единицах отношение среднего квадратического значения звукового давления в определенной полосе частот к стандартизованному исходному значению звукового давления (порогу слышимости):

$$L = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0}, \quad (8.1)$$

где L – уровень звукового давления, дБ; P – среднее квадратическое значение звукового давления в определенной полосе частот, Па; $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ – исходное значение звукового давления в воздухе, Па.

Уровень интенсивности звука определяется по формуле

$$L = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0}, \quad (8.2)$$

где I – интенсивность звука, Вт/м²; $I_0 = 10^{-12}$ – интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости, Вт/м².

Таким образом, все воспринимаемые человеческим ухом звуки можно оценить уровнями от 0 до 140 дБ. На практике обычно производят вычисления уровней до целых чисел, так как изменения уровня звукового давления менее чем на 1 дБ слухом не воспринимаются.

Уровни звукового давления некоторых источников шума приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Характеристики источников шума

Источники звуков и слуховые пороги	Уровень звукового давления, дБ
Порог слышимости	0
Шелест листвы	10–20
Шепот на расстоянии 1 м	30–40
Тихая речь	50–60
Шум при работе токарного станка	70–80
Шум при работе пневматического инструмента	110–120
Шум реактивного двигателя на расстоянии 1 м от сопла	Более 140
Порог болевого ощущения	140

При уровне шума выше 80 дБ становится трудно разговаривать, уровень шума 120 дБ вызывает ощущение давления в ушах, при 130–140 дБ шум создает болевое ощущение, при 160 дБ и выше происходит механическое повреждение органов слуха и внутренних органов, при уровнях порядка 180 дБ начинают разрушаться металлические соединения (заклепочные и сварочные швы).

Суммарный уровень звукового давления L , дБ, создаваемый несколькими источниками звука с одинаковым уровнем звукового давления L_i , рассчитывается по формуле

$$L = L_i + 10 \cdot \lg n, \quad (8.3)$$

где n – число источников шума с одинаковым уровнем звукового давления.

Так, например, если шум создают два одинаковых источника шума, то их суммарный шум на 3 дБ больше, чем каждого из них в отдельности.

Суммарный уровень звукового давления нескольких различных источников звука определяется по формуле

$$L = 10 \cdot \lg(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + \dots + 10^{0,1L_n}), \quad (8.4)$$

где L_1, L_2, \dots, L_n – уровни звукового давления, создаваемые каждым из источников звука в исследуемой точке пространства.

Так как чувствительность слухового аппарата человека различна для различных частот, то для того, чтобы приблизить результаты объективных измерений к субъективному восприятию человеком, введено понятие скорректированного уровня звукового давления. Для коррекции используются зависящие от частот звука поправки к уровню

звукового давления. Эти поправки стандартизированы; наиболее употребительна коррекция «А».

Уровень звука – выраженное в логарифмических единицах отношение среднего квадратического значения звукового давления, скорректированного по стандартизованной частотной характеристике «А», к стандартизованному исходному значению звукового давления; измеряется в децибелах по частотной характеристике «А» (дБА) и определяется по формуле

$$L = 20 \cdot \lg \frac{P_A}{P_0}, \quad (8.5)$$

где L – уровень звука, дБА; P_A – среднее квадратическое значение звукового давления с учетом коррекции «А», Па; $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ – исходное значение звукового давления в воздухе, Па.

При исследовании шумов весь диапазон частот разбивают на полосы частот. За ширину полосы принята **октава**, т. е. интервал частот, в котором высшая частота f_2 в два раза больше низшей f_1 . В практике используют октавные ($\frac{f_2}{f_1} = 2$) и третьоктавные ($\frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2}$) полосы частот.

В качестве частоты, характеризующей полосу в целом, берется среднегеометрическая частота $f = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$. Например, октавную полосу 22,4–45 Гц выражает среднегеометрическая частота 31,5 Гц; 45–90 Гц – 63 Гц и т. д. В результате сформирован стандартный ряд из девяти октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

Сложный шум может быть разложен на простые составляющие тона с указанием интенсивности и частоты каждого из них. Графическое изображение состава шума называется **спектром** и является его важнейшей характеристикой. Спектр шума показывает распределение колебательной энергии по звуковому диапазону частот.

Шумы классифицируются в соответствии с СанПиН «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

По характеру спектра шум следует подразделять на широкополосный и тональный.

Широкополосный шум – шум с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

Тональный шум – шум, в спектре которого имеются выраженные дискретные (тональные) составляющие.

Тональный характер шума для практических целей устанавливается измерением в третьоктавных полосах частот по превышению уровня звукового давления в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.

По временным характеристикам шума выделяют постоянный и непостоянный шум.

Постоянный шум – шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) или за время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется не более чем на 5 дБА при измерениях на стандартизованной временной характеристике измерительного прибора «медленно».

Непостоянный шум – шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) или за время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется более чем на 5 дБА при измерениях на стандартизованной временной характеристике измерительного прибора «медленно».

Непостоянный шум подразделяют на колеблющийся, прерывистый и импульсный.

Колеблющийся шум – шум, уровень звука которого непрерывно изменяется во времени.

Прерывистый шум – шум, уровень звука которого изменяется во времени ступенчато (на 5 дБА и более), причем длительность интервалов, в течение которых уровень остается постоянным, составляет 1 с и более.

Импульсный шум – шум, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука, измеряемые на стандартизованных временных характеристиках шумомера «импульс» и «медленно», отличаются на 7 дБА и более.

Объективный уровень звукового давления (или интенсивности звука) не дает представления о его физиологическом восприятии. Ухо человека неодинаково чувствует различные частоты, поэтому звуки одной и той же интенсивности, но различной частоты субъективно оцениваются как неодинаково громкие. И, наоборот, звуки, различной интенсивности и частоты могут восприниматься органом слуха при разном уровне их интенсивности как одинаково громкие. Например, звук частотой 100 Гц и силой 50 дБ воспринимается как равногромкий звуку частотой 1000 Гц и силой 20 дБ. Субъективное ощущение интенсивности звука оценивается уровнем его громкости.

За единицу **уровня громкости** – фон – принимается разность уровней интенсивности в 1 дБ эталонного звука частотой 1000 Гц. На

частоте 1000 Гц уровни громкости приняты равными уровням звукового давления.

Соотношения между уровнем звукового давления в децибелах и уровнем громкости в фонах хорошо иллюстрируются кривыми равной громкости, представленными на рис. 8.1. Каждая кривая представляет собой геометрическое место точек, координаты которых – частота и интенсивность звука – обеспечивают одинаковую слышимость.

L , дБ

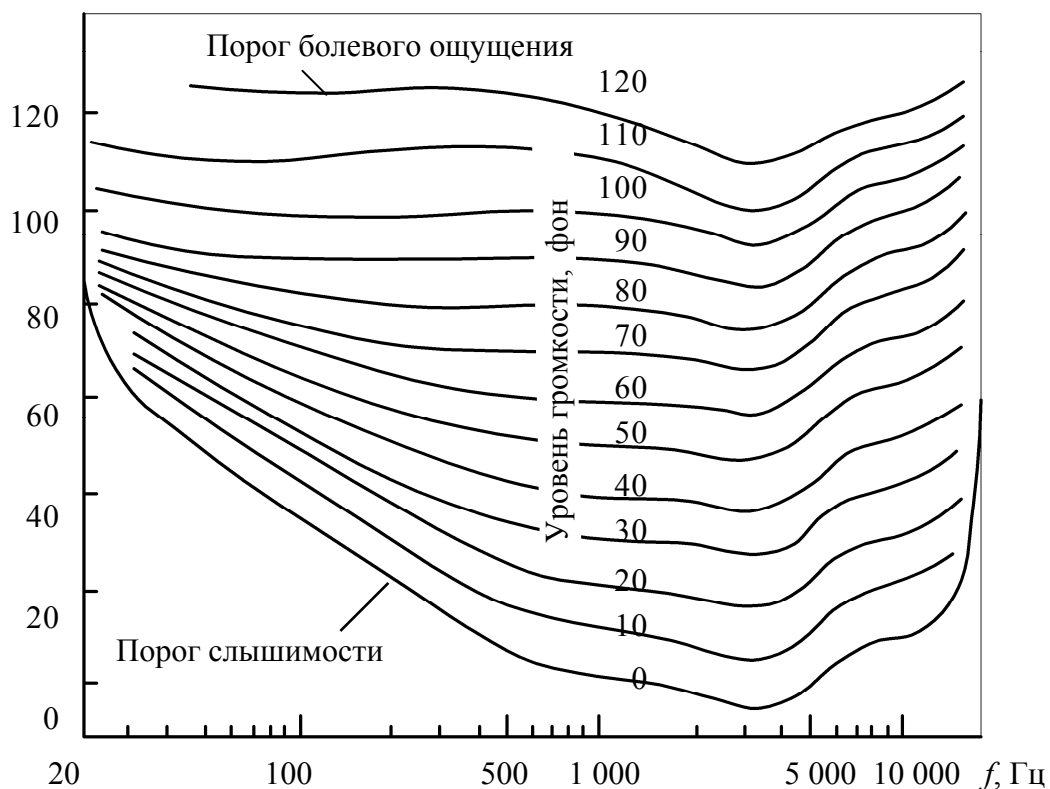


Рис. 8.1. Кривые равной громкости

Вибрация – механические колебания и волны в твердых телах, воспринимаемые организмом человека как сотрясения. Часто вибрации сопровождаются слышимым шумом.

Принято считать, что диапазон колебаний, воспринимаемый человеком как вибрации при непосредственном контакте с колеблющейся поверхностью, лежит в пределах 12–8000 Гц. Колебания с частотой до 12 Гц воспринимаются всем телом как отдельные толчки.

По способу передачи на человека вибрация подразделяется на общую и локальную.

Общая вибрация – вибрация, передающаяся через опорные поверхности на тело стоящего или сидящего человека.

Локальная вибрация – вибрация, передающаяся через руки человека, воздействующая на ноги сидящего человека или предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями.

Основные параметры, характеризующие вибрацию: частота f (Гц); амплитуда смещения A (м) (величина наибольшего отклонения колеблющейся точки от положения равновесия); колебательная скорость v (м/с); колебательное ускорение a (м/с²).

Также как и для шума, весь спектр частот вибраций, воспринимаемых человеком, разделен на октавные и третьоктавные полосы.

Поскольку диапазон изменения параметров вибрации от пороговых значений, при которых она не опасна, до действительных большой, то удобнее измерять не действительные значения этих параметров, а логарифм отношения действительных значений к пороговым. Такую величину называют логарифмическим уровнем параметра, а единицу ее измерения – децибел (дБ).

Логарифмические уровни виброускорения L_{a_i} , дБ, в i -й октавной или третьоктавной полосе – уровни, непосредственно измеряемые в октавных или третьоктавных полосах частот или определяемые по формуле

$$L_{a_i} = 20 \cdot \lg \frac{a_i}{a_0}, \quad (8.6)$$

где a_i – средние квадратические значения виброускорения в октавных или третьоктавных полосах частот, м/с²; a_0 – исходное значение виброускорения, $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м/с².

Логарифмические уровни виброскорости L_{v_i} , дБ, в i -й октавной или третьоктавной полосе – уровни, непосредственно измеряемые в октавных или третьоктавных полосах частот или определяемые по формуле

$$L_{v_i} = 20 \cdot \lg \frac{v_i}{v_0}, \quad (8.7)$$

где v_i – средние квадратические значения виброскорости в октавных или третьоктавных полосах частот, м/с; v_0 – исходное значение виброскорости, $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с.

Корректированный по частоте уровень параметра вибрации L_u , дБ, – одночисловая характеристика вибрации, непосредственно измеряемая с применением виброметров с корректирующими фильтрами или определяемая как результат энергетического суммирования уровней вибрации в октавных (третьоктавных) полосах с учетом октавных (третьоктавных) весовых коэффициентов (поправок) по формуле

$$L_u = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{u_i} + \Delta L_{u_i})}, \quad (8.8)$$

где L_u – скорректированный по частоте уровень параметра вибрации, дБ; n – число октавных (третьоктавных) полос; i – порядковый номер октавной (третьоктавной) полосы; L_{u_i} – октавные (третьоктавные) уровни параметра вибрации, дБ; ΔL_{u_i} – октавные (третьоктавные) весовые поправки, дБ.

Общая вибрация в зависимости от источника ее возникновения подразделяется:

- на общую вибрацию 1-й категории – **транспортную** вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности (тракторы, самоходные машины, грузовые автомобили);

- общую вибрацию 2-й категории – **транспортно-технологическую** вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок (экскаваторы, краны промышленные и строительные, напольный производственный транспорт), а также на рабочих местах водителей легковых автомобилей и автобусов;

- общую вибрацию 3-й категории – **технологическую** вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации (станки, кузнечно-прессовое оборудование, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы и др.). Общую вибрацию категории 3 по месту действия подразделяют на следующие типы:

- а) на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;

- б) на рабочих местах складов, столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещений, где нет машин, генерирующих вибрацию;

- в) на рабочих местах административных и служебных помещений заводоуправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещений, рабочих комнат и других помещений для работников умственного труда.

Локальная вибрация в зависимости от источника возникновения подразделяется на передающуюся от ручных машин с двигателем или

ручного механизированного инструмента; органов управления машин и оборудования; ручных инструментов без двигателей и обрабатываемых деталей.

По направлению действия вибрация подразделяется:

- на общую вибрацию, действующую вдоль осей ортогональной системы координат X_o , Y_o , Z_o , где X_o (от спины к груди) и Y_o (от правого плеча к левому) – горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям; Z_o – вертикальная ось, перпендикулярная опорным поверхностям тела в местах его контакта с сиденьем, полом и т. п.;
- локальную вибрацию, действующую вдоль осей ортогональной системы координат $X_{\text{л}}$, $Y_{\text{л}}$, $Z_{\text{л}}$, где ось $X_{\text{л}}$ совпадает или параллельна оси места охвата источника вибрации (рукоятки, рулевого колеса, рычага управления, удерживаемого в руках обрабатываемого изделия и т. п.), ось $Y_{\text{л}}$ перпендикулярна ладони, а ось $Z_{\text{л}}$ лежит в плоскости, образованной осью $X_{\text{л}}$ и направлением приложения силы или подачи обрабатываемого изделия (или осью предплечья, когда сила не прикладывается).

По характеру спектра вибрация подразделяется:

- на **узкополосную** вибрацию, для которой уровень контролируемого параметра в одной третьоктавной полосе частот более чем на 15 дБ превышает уровень в соседних третьоктавных полосах;
- **широкополосную** вибрацию с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

По частотному составу вибрация подразделяется:

- на **низкочастотную** вибрацию (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1–4 Гц – для общей вибрации, 8–16 Гц – для локальной);
- **среднечастотную** вибрацию (8–16 Гц – для общей вибрации, 31,5–63 Гц – для локальной);
- **высокочастотную** вибрацию (31,5–63 Гц – для общей вибрации, 125–1000 Гц – для локальной).

По временным характеристикам вибрация подразделяется:

- на **постоянную** вибрацию, для которой величина нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза (6 дБ) за время наблюдения при измерении с постоянной времени 1 с;
- **непостоянную** вибрацию, для которой величина нормируемых параметров изменяется более чем в 2 раза (6 дБ) за время наблюдения при измерении с постоянной времени 1 с, в том числе:
 - а) колеблющуюся во времени вибрацию, для которой величина нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;

б) прерывистую вибрацию, когда контакт человека с вибрацией прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с;

в) импульсную вибрацию, состоящую из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждое длительностью менее 1 с.

1.2. Воздействие шума и вибрации на организм человека

Борьба с шумом стала в настоящее время социальной проблемой. Производственный шум отрицательно действует не только на людей, работающих на шумных производственных участках, но и на весь контингент лиц, обслуживающих данное производство, и на население, проживающее вблизи территории завода.

Установлено, что производственный шум, превышающий предельно допустимый уровень звукового давления, при длительном воздействии приводит к профессиональным заболеваниям органов слуха, вызывая частичную или полную глухоту, к болезням нервной, сердечно-сосудистой систем и желудочно-кишечного тракта. Функциональные нарушения нервной системы развиваются значительно раньше, чем слухового аппарата. Такое общее заболевание организма под воздействием шума называют **шумовой болезнью**.

На основании всесторонних исследований, проведенных на рабочих различных профессий, выявлен характерный комплекс расстройств. Постоянными являются жалобы, указывающие на нарушение нервно-психического равновесия, повышенную утомляемость, головную боль, головокружение, бессонницу, раздражительность, вялость и др. У некоторых людей имеет место нарастающая непереносимость к шуму, заставляющая их менять профессию.

Лица, работающие на шумных производствах, предъявляют жалобы, свидетельствующие и о нарушениях сердечно-сосудистой системы: боли в области сердца, приступы сердцебиения, одышка. Отмечается повышение или понижение артериального давления.

Длительное воздействие шума приводит к утомлению органа слуха и с течением времени вызывает патологические изменения, которые появляются в результате истощения адаптационной способности и нарушения нормальных процессов в слуховом рецепторе.

Минимальный уровень звукового давления, при котором начинает сказываться утомляющее действие шума на орган слуха человека, зависит от частоты воспринимаемых звуков. Так, для звуков диапазо-

на 2000–4000 Гц утомляющее действие начинается с 80 дБ, а для звуков 5000–6000 Гц – с 60 дБ.

Появление утомляемости следует рассматривать как ранний симптом развития шумовой болезни.

Рабочие всех профессий, связанных с шумом, в той или иной мере страдают **тугоухостью**, в особенности, если общий уровень интенсивности шума достигает 90 дБ и более.

Люди, работающие в условиях большого шума, быстро утомляются – следствием чего является значительное понижение производительности труда и увеличение брака. Нередко шум является косвенной причиной увеличения травматизма на предприятии вследствие притупления внимания и реакции работающих.

Некоторые виды вибрации оказывают неблагоприятное воздействие на нервную систему, вестибулярный аппарат и сердечно-сосудистую систему организма человека. С увеличением мощности двигателей и скоростей движения агрегатов параметры вибрации увеличиваются и гигиеническое значение их возрастает.

Наиболее вредное воздействие на организм человека оказывает вибрация, частота которой совпадает с частотой резонанса отдельных частей тела человека (частота резонанса человека). При этом особенно неприятны колебания в области низких звуковых и дозвуковых (инфразвуковых) частот.

И общая, и местная вибрация могут привести к развитию **вибрационной болезни**. Эта болезнь характеризуется нарушением деятельности различных функций организма, и в первую очередь периферической и центральной нервной системы. Больные жалуются на головные боли, бессонницу, повышенную утомляемость, раздражительность. К числу характерных симптомов вибрационной болезни следует отнести также нервно-сосудистые нарушения, проявляющиеся в побелении кожи на руках. Кроме того, возникают изменения в мышцах и костно-суставные нарушения в кистях, реже в области лучезапястных, локтевых и плечевых суставов. У больных вибрационной болезнью отмечаются функциональные нарушения пищеварительного тракта, вызывающие гастриты и тому подобные заболевания.

Работы последних лет, посвященные изучению воздействия вибраций на организм человека, позволили установить:

- а) что специфика вибрационной болезни определяется спектральным составом вибраций;
- б) человек более чувствителен к воздействию вибраций статистического характера, чем гармонического;

в) степень воздействия вибраций однозначно определяется переданной человеку колебательной энергией.

Экспериментальными исследованиями установлена зависимость развития вибрационной болезни от продолжительности воздействия вибраций. Монотонная работа, однообразные движения в течение рабочего дня без переключения на другие операции, отсутствие микропауз в работе способствуют быстрому развитию вибрационной болезни.

При совместном воздействии на организм вибраций и шума наступают более ярко выраженные изменения со стороны некоторых показателей функционального состояния организма. Это относится к слуховой и вибрационной чувствительности центральной нервной системы. При сочетании шума и вибраций порог слуховой чувствительности повышается в 1,7–1,8 раза, а порог вибрационной чувствительности в 1,1–1,2 раза больше, чем при раздельном воздействии вибраций или шума.

Восстановление физиологических функций после одновременно-го воздействия шума и вибраций протекает более длительно, чем после раздельного их воздействия.

1.3. Нормирование и контроль шума и вибрации на производстве

Условия труда по шуму нормируются в соответствии с СанПиН «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Нормируемыми параметрами постоянного шума являются:

- уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со средне-геометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, определяемые по формуле (8.1);
- уровни звука (дБА), определяемые по формуле (8.5).

Оценка постоянного шума на соответствие предельно допустимым уровням должна проводиться как по уровням звукового давления, так и по уровню звука. Превышение хотя бы одного из указанных показателей должно квалифицироваться как несоответствие санитарным правилам.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всей трудовой деятельности, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих

поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются:

- эквивалентный (по энергии) уровень звука (дБА), определяемый по формуле (8.9);
- максимальный уровень звука (дБА).

Эквивалентный (по энергии) уровень звука непостоянного шума – уровень звука постоянного широкополосного шума (дБА), который имеет такое же среднее квадратическое звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение заданного интервала времени; определяется по формуле

$$L_{A_{\text{экв}}} = 10 \cdot \lg \left\{ T^{-1} \int_0^T \left[\frac{P_A(t)}{P_0} \right]^2 dt \right\}, \quad (8.9)$$

где $L_{A_{\text{экв}}}$ – эквивалентный (по энергии) уровень звука непостоянного шума, дБА; T – заданный интервал времени, с; $P_A(t)$ – текущее значение среднего квадратического звукового давления с учетом коррекции «А», Па.

Максимальный уровень звука – уровень звука (дБа), соответствующий максимальному показанию измерительного прибора (шумомера) при визуальном отсчете, или значение уровня звука, превышаемое в течение 1% времени измерения при регистрации автоматическим устройством.

Оценка непостоянного шума на соответствие предельно допустимым уровням должна проводиться как по эквивалентному, так и по максимальному уровням звука. Превышение хотя бы одного из указанных показателей должно квалифицироваться как несоответствие санитарным правилам.

Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровни звука постоянного шума, а также эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест с учетом условий тяжести и напряженности труда представлены в табл. 8.2. Для тонального и импульсного шума предельно допустимые уровни должны приниматься на 5 дБ (дБА) меньше значений, указанных в табл. 8.2. Для шума, создаваемого в помещениях установками кондиционирования воздуха, вентиляции и воздушного отопления, предельно допустимые уровни принимаются на 5 дБ (дБА) меньше значений, указанных в табл. 8.2 (поправка для тонального и импульсного шума при этом не учитывается).

Таблица 8.2

Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровни звука постоянного шума, а также эквивалентные уровни звука непостоянного шума для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест с учетом тяжести и напряженности труда

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалент- ные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, обучение и воспитание, медицинская деятельность. Рабочие места проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, для приема пациентов в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2. Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории. Рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
3. Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами, работа, требующая постоянного слухового контроля; операторская работа по точному графику с инструкцией, диспетчерская работа. Рабочие места в помещениях диспетчерской										

Окончание табл. 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4. Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления, без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5. Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в пп. 1–4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
6. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала грузовых автомобилей	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
7. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов, самоходных шасси, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных и других аналогичных машин	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для колеблющегося во времени и прерывистого шума максимальный уровень звука не должен превышать 110 дБА, а для импульсного шума – 125 дБА_I.

Для импульсного шума с уровнем 110 дБА_I и более следует дополнительно проводить измерения шума в режиме «пик» шумомера.

Запрещается даже кратковременное пребывание в зонах с уровнем звука или уровнем звукового давления в любой октавной полосе свыше 135 дБА (дБ).

Измерения шума проводятся в соответствии с ГОСТ 12.1.050-86 ССБТ «Методы измерения шума на рабочих местах». Измерения шума должны производиться для контроля соответствия фактических уровней шума на рабочих местах, допустимых по санитарным нормам.

Устанавливаются следующие измеряемые и рассчитываемые величины в зависимости от временных характеристик шума: уровень звука, дБА, и октавные уровни звукового давления, дБ, – для постоянного шума; эквивалентный уровень звука и максимальный уровень звука, дБА, – для колеблющегося во времени шума; эквивалентный уровень звука, дБА, и максимальный уровень звука, дБА_I, – для импульсного шума; эквивалентный и максимальный уровни, дБА, – для прерывистого шума. Результаты измерений должны характеризовать шумовое воздействие за время рабочей смены (рабочего дня).

Устанавливается следующая продолжительность измерения постоянного шума: половина рабочей смены (рабочего дня) или полный технологический цикл. Допускается общая продолжительность измерения 30 мин, состоящая из трех циклов каждый продолжительностью 10 мин – для колеблющегося во времени; 30 мин – для импульсного; полный цикл характерного действия шума – для прерывистого.

Измерения шума необходимо производить при работе не менее 2/3 установленных в данном помещении единиц технологического оборудования в наиболее часто реализуемом (характерном) режиме его работы. Во время проведения измерений включается оборудование вентиляции, кондиционирования воздуха и другие обычно используемые в помещении устройства, являющиеся источником шума.

Микрофон шумомера следует располагать на высоте 1,5 м над уровнем пола или рабочей площадки (если работа выполняется стоя) или на высоте уха человека, подвергающегося воздействию шума (если работа выполняется сидя). Микрофон должен быть ориентирован в направлении максимального уровня шума и удален не менее чем на 0,5 м от оператора, проводящего измерения.

Для оценки шума на постоянных рабочих местах измерения следует проводить в точках, соответствующих установленным постоянным местам. Для оценки шума на непостоянных рабочих местах измерения следует проводить в рабочей зоне в точке наиболее частого пребывания работающего.

Контроль нормируемых параметров шума на рабочих местах должен производиться не реже одного раза в год.

Условия труда по вибрации нормируются в соответствии с СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-33-2002 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации, воздействующей на человека, должна производиться следующими методами: частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра; интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра; интегральной оценкой с учетом времени вибрационного воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра.

Нормируемый диапазон частот измерения вибрации устанавливается: для общей производственной вибрации – в октавных (широкополосная вибрация) или третьоктавных (узкополосная вибрация) полосах со среднегеометрическими частотами 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц соответственно; для локальной производственной вибрации – в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц.

Нормируемыми параметрами постоянной производственной вибрации являются средние квадратические значения виброускорения и виброскорости, измеряемые в октавных или третьоктавных полосах частот, или их логарифмические уровни, определяемые по формулам 8.6 и 8.7; скорректированные по частоте значения виброускорения и виброскорости или их логарифмические уровни, определяемые по формуле 8.8.

Нормируемыми параметрами непостоянной производственной вибрации являются эквивалентные (по энергии) скорректированные по частоте значения виброускорения и виброскорости или их логарифмические уровни.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) вибрации – уровень параметра вибрации, при котором ежедневная (кроме выходных дней) работа, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа,

не должна вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ вибрации не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Предельно допустимые величины нормируемых параметров локальной производственной вибрации при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) устанавливаются согласно табл. 8.3.

Таблица 8.3

Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_L , Y_L , Z_L			
	виброускорение		виброскорость	
	м/с ²	дБ	м/с · 10 ⁻²	дБ
8	1,4	73	2,8	115
16	1,4	73	1,4	109
31,5	2,7	79	1,4	109
63	5,4	85	1,4	109
125	10,7	91	1,4	109
250	21,3	97	1,4	109
500	42,5	103	1,4	109
1000	85,0	109	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	76	2,0	112

Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими приведенные в табл. 8.3 значения более чем на 12 дБ по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе частот, не допускается.

Предельно допустимые величины нормируемых параметров общей производственной вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 8 ч устанавливаются согласно табл. 8.4–8.6.

Таблица 8.4

**Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест
категории 1 – транспортной**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения							
	виброускорение				виброскорость			
	м/с ²		дБ		м/с · 10 ⁻²		дБ	
	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀
1,0	1,12	0,40	71	62	20,0	6,3	132	122
2,0	0,80	0,40	68	62	7,1	3,5	123	117
4,0	0,56	0,80	65	68	2,5	3,2	114	116
8,0	0,56	1,60	65	74	1,3	3,2	108	116
16,0	1,12	3,15	71	80	1,1	3,2	107	116
31,5	2,24	6,30	77	86	1,1	3,2	107	116
63,0	4,50	12,50	83	92	1,1	3,2	107	116
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	0,56	0,40	65	62	1,1	3,2	107	116

Таблица 8.5

**Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест
категории 2 – транспортно-технологической**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X ₀ , Y ₀ , Z ₀			
	виброускорение		виброскорость	
	м/с ²	дБ	м/с · 10 ⁻²	дБ
2,0	0,40	62	3,50	117
4,0	0,28	59	1,30	108
8,0	0,28	59	0,63	102
16,0	0,56	65	0,56	101
31,5	1,12	71	0,56	101
63,0	2,25	77	0,56	101
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	0,28	59	0,56	101

Таблица 8.6

**Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест
категории 3 – технологической типа «а»**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_o , Y_o , Z_o			
	виброускорение		виброскорость	
	м/с ²	дБ	м/с · 10 ⁻²	дБ
2,0	0,14	53	1,30	108
4,0	0,10	50	0,45	99
8,0	0,10	50	0,22	93
16,0	0,20	56	0,20	92
31,5	0,40	62	0,20	92
63,0	0,80	68	0,20	92
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	0,10	50	0,20	92

Контроль вибрации должен проводиться в типовых условиях эксплуатации, которые выбирают из наиболее распространенных условий практического применения контролируемого объекта. Контроль проводят в точках, для которых определены санитарные и технические нормы в направлениях координатных осей, установленных санитарными правилами. Периодичность контроля локальной вибрации должна быть не реже двух раз в год, общей – не реже раза в год. Для оценки вибрационной нагрузки на оператора точки измерения выбирают в местах контакта оператора с вибрирующей поверхностью. При измерении локальной вибрации с участием человека-оператора вибропреобразователь устанавливают на переходном элементе-адаптере. При измерении общей вибрации вибропреобразователь устанавливают на промежуточной платформе около ног оператора, работающего стоя, или на промежуточном диске, размещаемом на сиденье под опорными поверхностями оператора, работающего сидя.

Время усреднения (интегрирования) прибора при измерении локальной вибрации должно быть не менее 1 с, а общей вибрации – не менее 10 с. Измерения проводят непрерывно или через равные промежутки времени (дискретно).

При дискретном измерении спектров и корректированных по частоте значений интервал между снятием отсчетов для локальной вибрации должен быть не менее 1 с, для общей – не менее 10 с. При не-

прерывном измерении спектров и скорректированных по частоте значений длительность измерения должна быть для локальной вибрации не менее 3 с, для общей вибрации – не менее 30 с. При непрерывном измерении дозы вибрации или эквивалентного скорректированного значения контролируемого параметра длительность наблюдения должна быть для локальной вибрации не менее 5 мин, для общей вибрации – не менее 15 мин.

1.4. Защита от шума и вибрации

Во всех случаях наибольшая эффективность достигается при *уменьшении интенсивности шума и вибрации в источнике их возникновения* путем выбора специальной конструкции совершенного, бесшумного оборудования и инструмента, использования соответствующих материалов, высокого качества изготовления деталей, их правильного монтажа и эксплуатации. Следует иметь в виду, что при работе всех технических устройств около 40% шума создают различные зубчатые передачи и другие трансмиссии.

При выборе способов и средств защиты следует использовать возможность замены шумного оборудования или технологии менее шумными, выносить шумное оборудование за пределы рабочего помещения, более широко использовать средства подавления шума на путях его распространения (локализация шума и вибрации). Рационально также использовать дистанционное управление, ограничивать время работы шумного оборудования, предупреждать опасное маскирующее воздействие интенсивных источников, затрудняющих эффективную борьбу с шумом в отдельных производственных помещениях.

В последние годы разработано и внедрено на практике много весьма эффективных *звукоизолирующих материалов*, специальных конструкций и *звукоизолирующих преград*. Широкое использование их для изоляции, локализации, снижения уровня шума должно быть одним из важных профилактических направлений.

Все более широко используются также *виброизолирующие устройства* и *вибропоглощающие материалы*.

К высоким уровням шума при работе технологического оборудования часто приводят:

1) конструктивные особенности машин (удары и трение узлов и деталей); недостаточная жесткость крепления отдельных частей машины, создающая вибрацию; изготовление механизмов из звенящих металлов и др.;

2) технические недостатки из-за низкого качества изготовления оборудования: плохая динамическая балансировка вращающихся деталей и узлов, неточное выполнение шага зацепления и формы профиля зуба. Даже ничтожно малые отклонения в размерах деталей машин отражаются на спектре, уровне и других характеристиках шума;

3) некачественный монтаж оборудования на производственных площадках, приводящий к перекосам при работе деталей и узлов машин, а также к вибрациям несущих конструкций;

4) нарушение правил технической эксплуатации машин и агрегатов: отклонение в режиме работы оборудования по сравнению с паспортным, плохой уход за ним и др.;

5) несвоевременный и некачественный ремонт оборудования, ухудшающий качество работы машины и увеличивающий уровень производственного шума;

6) использование высокошумных технологических процессов, операций, отдельных машин и инструментов.

Интенсивным источником низкочастотных вибраций и шума является неуравновешенность вращающихся частей машин, выбор нерационального, излишне жесткого фундамента и т. д.

Комплекс мер по борьбе с шумом и вибрациями включает:

- жесткое крепление вибрирующих деталей и узлов;
- амортизацию, демпфирование, виброизоляцию с помощью ресор, упругих материалов (резина, войлок, асбест и др.), при которых невозможна передача собственных колебаний вибрирующих узлов и механизмов (за счет высокого внутреннего трения) основанию (фундаменту), другим частям оборудования. При этом собственная частота колебаний системы должна быть в $2/3$ раза меньше возбуждающей частоты. Образование шума и вибраций в этих условиях будет исключено, если одновременно будет обеспечена изоляция фундамента оборудования от грунта с помощью воздушных разрывов (акустических швов);

- снижение уровня шума от вентиляционных и нагревательных установок путем уменьшения скорости движения воздуха (газа) в установках и воздуховодах (увеличения площади их поперечного сечения), а также уменьшения числа поворотов, разделения воздушных (газовых) потоков, устранения вибрации трубопроводов от пульсирующих потоков и др.

При встрече с преградой одна часть энергии звуковой волны отражается от нее, другая поглощается ею, третья проходит через нее. Уве-

личением поглощающей и отражающей способности преграды (звукоизоляции) эффективно снижается уровень шума на рабочих местах.

Звукопоглощающие материалы (войлок, минеральная шерсть, асбест, асбосиликат, арболит, пористые штукатурки и др.) способны уменьшать шум. Эта способность различна для звуков разной частоты (высокочастотные звуки поглощаются лучше, чем низкочастотные) и зависит от толщины звукопоглощающих преград. Особенно эффективно использовать многослойные звукоизолирующие кожухи, состоящие из гладких плотных материалов, между которыми размещены рыхлые, пористые звукопоглотители и др. Коэффициент звукопоглощения указанных выше современных материалов при частоте 1000 Гц равен 0,3–0,9, бетона и кирпича – 0,01–0,03.

Особое значение для профилактики шума имеют *архитектурно-планировочные решения*. Снижение уровня шума в воздухе пропорционально квадрату расстояния от источника шума. Защита расстоянием от шума является весьма эффективной. Мощным естественным звукопоглотителем является лиственный лес. При частоте 800–1000 Гц уровень звукового давления в лесу на 1 м расстояния снижается на 0,15 дБ.

Все это рекомендуется использовать для борьбы с шумом. При этом наиболее шумные производственные объекты следует выносить за пределы предприятий и жилых массивов на необходимое расстояние и располагать их с учетом розы ветров, направления, распределения звуковых волн (шум слышится дальше и сильнее по направлению ветра), рационально использовать лесонасаждения и водоемы.

Борьба с шумом должна быть направлена на устранение наиболее мощных высокочастотных источников, которые в основном определяют условия труда по шуму на рабочих местах и маскируют большое количество других источников с более низким уровнем шума. Если комплекс технических, организационных, архитектурно-планировочных и других мер не обеспечивает нормальных условий труда по шуму и вибрациям, используются различные *средства индивидуальной защиты* (антифоны, беруши, шумозащитные наушники и шлемы), изготовленные из пластичных (неопрен, воск) и твердых (резина, эбонит) материалов. Использование антифонов снижает уровень шума средней частоты на 15–30 дБ. Противошумные наушники ВЦНИИОТ – на 10–40 дБ. Антифоны эффективнее защищают от наиболее вредного высокочастотного шума.

Для защиты от вибраций широкое применение находят виброизолирующие перчатки и обувь.

Устранение отмеченных недостатков в технологии, технике, организации производства, комплексное использование современных методов борьбы с шумом позволят значительно снизить уровни шума и вибрации и улучшить условия труда на производстве.

2. Экспериментальная часть

2.1. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд (рис. 8.2) позволяет производить оценку эффективности звукопоглощающих экранов и амортизаторов.

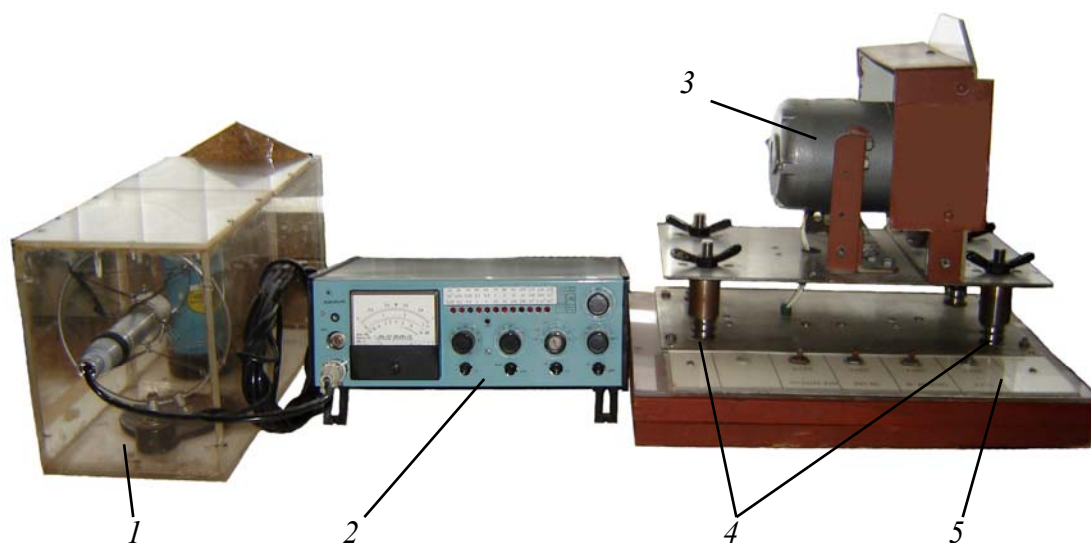


Рис. 8.2. Стенд для измерения параметров шума и вибрации:

1 – шумовая камера; 2 – измеритель шума и вибрации ВШВ-003-М2;
3 – электродвигатель; 4 – амортизаторы; 5 – панель управления стендом

Он включает в себя: шумовую камеру 1, позволяющую измерять параметры шума непосредственно от источника и после прохождения через различные звукопоглощающие экраны; измеритель шума и вибрации ВШВ-003-М2 2; электродвигатель 3, установленный на четырех амортизаторах 4, которые при зажиме винтов превращаются в жесткое крепление двигателя, и панель управления 5, подающую электрическую энергию к стенду и позволяющую включать источник шума, прибор ВШВ-003-М2, электродвигатель.

Шумовая камера (рис. 8.3) представляет собой прямоугольную конструкцию 1, изготовленную из оргстекла с прорезью посередине, в которую можно вставлять звукопоглощающие экраны 2 из различных

материалов. С одной стороны внутри установлен источник шума 4, с другой – микрофон 5. В торцевой части 3 хранятся различные звукопоглощающие экраны.

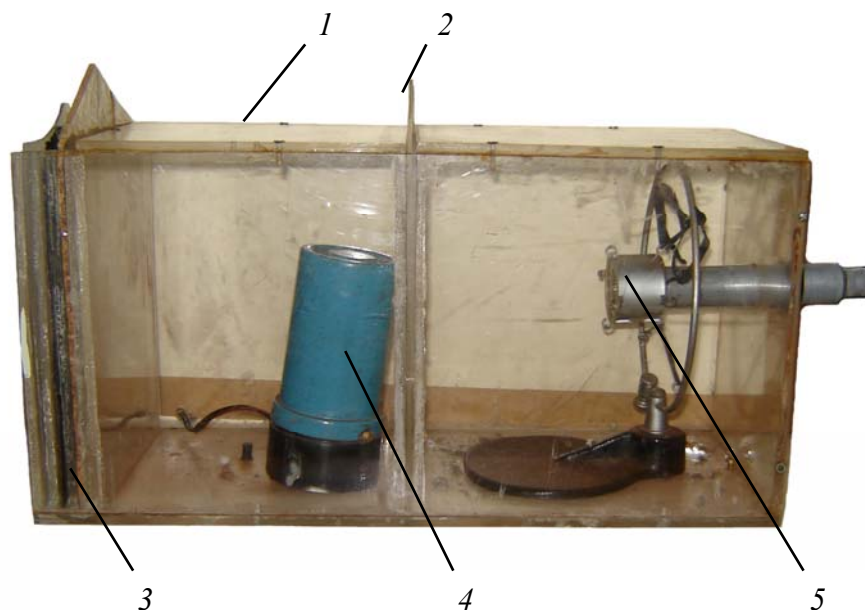


Рис. 8.3. Шумовая камера:

1 – корпус; 2 – звукопоглощающий экран;
3 – кассета со звукопоглощающими экранами из различных материалов;
4 – источник шума; 5 – микрофон

Шумомер ВШВ-003-М2 используется для измерения уровня звука, дБА; уровня звукового давления, дБ; виброскорости, дБ.

При измерении первых двух параметров используется микрофон типа М-101, третьего параметра – датчик ДН-3-М1.

Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В или от батарей.

Лицевая панель прибора представлена на рис. 8.4. Переключатель 2 предназначен для включения прибора в режим калибровки. Отсчет уровня звукового давления и уровня звука осуществляется стрелочным индикатором 3 (пределы измерений нижней шкалы: $-10...+10$ дБ). Индикатор ПРГ 6 предназначен для индикации перегрузки измерительного тракта. С помощью переключателя «Род работы» 7 прибор включается в режим измерения с различной «выдержкой»: «F» – быстро, «S» – медленно, «10S» – 10 секунд. Для установки верхнего предела измерений по шкале 4 используются ступенчатые переключатели «ДЛТ 1, дВ» 15 и «ДЛТ 2, дВ» 13. Для включения измерителя в режим

измерения виброскорости нажимается кнопка «a/V» 14, для включения фильтра низких частот 10 кГц или 4 кГц – кнопка «10 kHz/4 kHz» 12. Переключатель «ФЛТ ОКТ» 11 с кнопкой «kHz/Hz» 10 используется для включения одного из четырнадцати октавных фильтров со среднегеометрическими частотами от 1 до 8000 Гц. Переключатель «ФЛТ, Hz» 9 имеет следующие положения: «1; 10» – для включения фильтра высоких частот, ограничивающего частотный диапазон при измерении виброускорения или виброскорости; «ЛИН» – для включения фильтра низких частот, ограничивающего частотный диапазон при измерении уровня звукового давления по характеристике «ЛИН»; «А», «В», «С» – для включения корректирующих фильтров А, В, С; «ОКТ» – для включения режима частотного анализа в октавных полосах. Для измерений в режиме свободного или диффузного поля используется кнопка «СВ/ДИФ» 8.

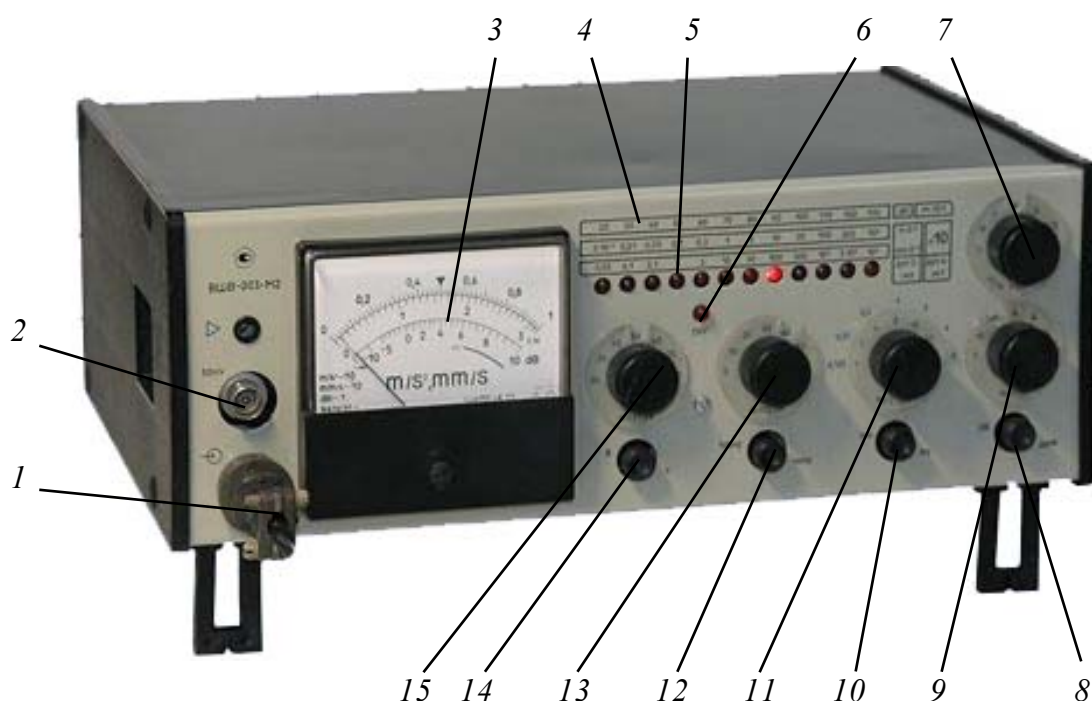


Рис. 8.4. Лицевая панель измерителя шума и вибрации ВШВ-003-M2:

- 1 – гнездо подключения микрофона; 2 – переключатель; 3 – стрелочный индикатор; 4, 5 – соответственно шкала и ряд индикаторов верхнего предела измерений шумомера; 6 – индикатор ПРГ; 7 – переключатель «Род работы»; 8 – кнопка «СВ/ДИФ»; 9 – переключатель «ФЛТ, Hz»; 10 – кнопка «kHz/Hz»; 11 – переключатель «ФЛТ ОКТ»; 12 – кнопка «10 kHz/4 kHz»; 13 – переключатель «ДЛТ 2, dB»; 14 – кнопка «a/V»; 15 – переключатель «ДЛТ 1, dB»

2.2. Порядок выполнения работы

2.2.1. Измерение шума

Задачей исследования является выявление эффективности звукопоглощающего (звукоотражающего) экрана.

Перед началом работы подготовить табл. 8.7 для занесения результатов измерения.

Таблица 8.7

Эффективность звукопоглощающего экрана

Показатели		Уровень звукового давления, дБ, на средне-геометрических частотах октавных полос, Гц								Уровень звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Нормативные значения по СанПиН										
Фактический уровень шума	без экрана									
	с экраном									
Превышение нормативных значений	без экрана									
	с экраном									

1. Измерение уровня звука (дБА). На стенде включить тумблеры «Сеть» и «ВШВ». Переключатели прибора установить в положения: «Род работы» – F; «ДЛТ 1, dB» – 80; «ДЛТ 2, dB» – 50; «ФЛТ, Hz» – ЛИН; все кнопки должны быть отжаты.

При этом должен светиться индикатор 130 дБ, что свидетельствует об исправности прибора.

Для измерения уровня звука переключатель «ФЛТ, Hz», поставить в положение А.

Включить источник шума тумблером на стенде.

Произвести измерение шума без экрана и с экраном (вставить в камеру между источником шума и микрофоном экран 2 (рис. 8.3)). Если при измерении стрелка измерителя находится в начале шкалы, то следует ввести ее в спектр 0–10 дБ шкалы децибел стрелочного индикатора (нижняя шкала) поочередно переключая переключатели «ДЛТ 1, dB» и «ДЛТ 2, dB». Для определения результата измерения следует сложить показание, соответствующее светящемуся индикатору (верхняя строчка 4 (рис. 8.4)), и показание по шкале децибел стрелочного индикатора (нижняя шкала 3 (рис. 8.4)).

При измерениях низкочастотных составляющих могут возникнуть колебания стрелки измерителя, тогда следует перевести переключатель «Род работы» из положения F в положение S.

Полученные результаты записать в графу «Уровень звука, дБА» (табл. 8.7).

2. Измерение уровня звукового давления, дБ. Переключатели прибора поставить в положения: «Род работы» – F; «ДЛТ 1, dB» – 80; «ДЛТ 2, dB» – 50; «ФЛТ, Hz» – ОКТ.

Измерение уровня звукового давления на частотах 31,5, 63 Гц производится при нажатой кнопке «kHz/Hz», а на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц – при отжатой кнопке. Переключатель «ФЛТ ОКТ» 11 (рис. 8.4) устанавливается при этом на измеряемую частоту. Записать показания прибора в табл. 8.7.

Построить графики нормативного и фактического уровней звукового давления шума по примеру рис. 8.5.

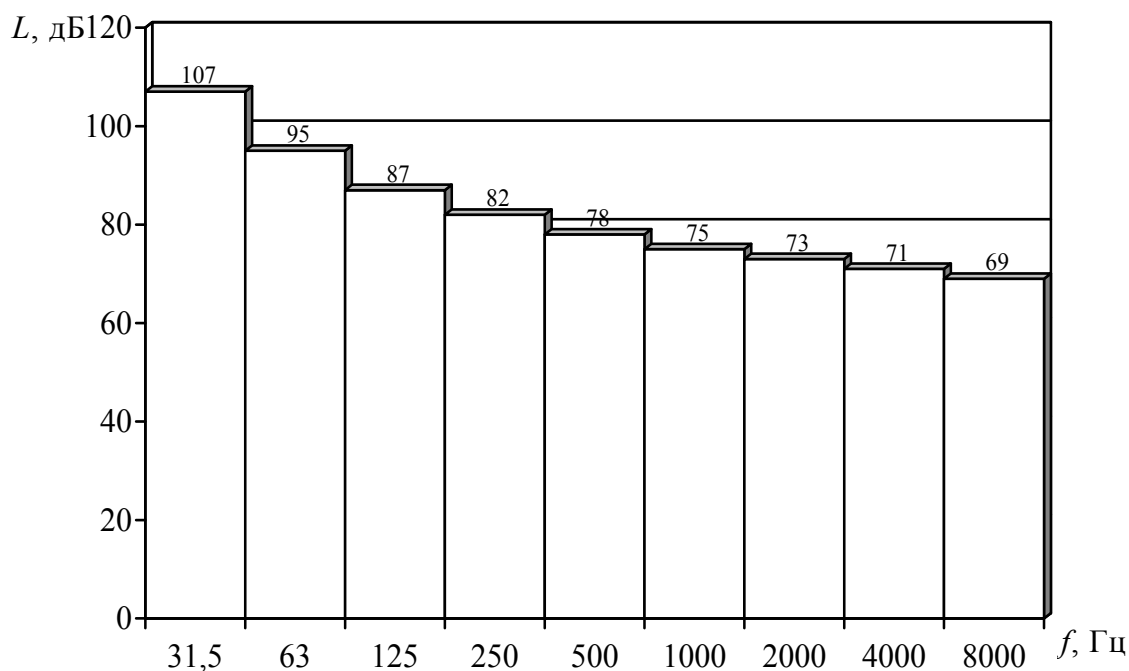


Рис. 8.5. Уровни звукового давления шума

По полученным данным сделать вывод об эффективности экрана, применяемого для снижения шума.

2.2.2. Измерение общей вибрации

К прибору присоединить предусилитель ВПМ-101, к которому подключить эквивалент вибропреобразователя, а к нему с помощью соединительного шнура – вибропреобразователь ДН-3-М1.

Установить переключатели измерителя в положения: «Род работы» – F; «ДЛТ 1, dB» – 80; «ДЛТ 2, dB» – 50; «ФЛТ, Hz» – 1.

Кнопки «a/V», «10 kHz/4 kHz» должны быть нажаты. Включить электродвигатель с закрепленным на его основании вибропреобразователем ДН-3-М1 и произвести измерения при жестком креплении двигателя (винты амортизаторов зажать) и на амортизаторах (винты отжать) на частотах 8, 16, 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц.

Измерение уровня виброскорости на частотах 8, 16, 31,5, 63 Гц производится при нажатой кнопке «kHz/Hz», а на частотах 125, 250, 500, 1000 Гц – при отжатой кнопке. Переключатель «ФЛТ ОКТ» 11 (рис. 8.4) устанавливается при этом на измеряемую частоту.

Для определения результата измерения следует сложить показание, соответствующее светящемуся индикатору (верхняя строчка 4 (рис. 8.4)), и показание по шкале децибел стрелочного индикатора (нижняя шкала 3 (рис. 8.4)). К полученному результату прибавить 26 дБ и записать в соответствующую графу табл. 8.8.

Таблица 8.8

Исследование эффективности амортизаторов

Показатели	Уровень виброскорости, дБ, на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Допустимые значения локальной вибрации $L_{\text{доп}}$ по СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-33-2002								
Фактический уровень вибрации: – при жестком креплении двигателя L_1 – на амортизаторах L_2								
Превышение допустимого значения: – при жестком креплении двигателя $L_1 - L_{\text{доп}}$ – на амортизаторах $L_2 - L_{\text{доп}}$								
Снижение уровней виброскорости вибропоглотителем $L_1 - L_2$								

Определить снижение уровней виброскорости вибропоглотителем.
По данным табл. 8.8 сделать вывод об эффективности применяемых амортизаторов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое шум и как он подразделяется?
2. Назовите основные физические характеристики звука, дайте их определения.
3. Измеряемые величины звука и их пороговые значения.
4. Дайте классификацию шумов в соответствии с СанПиН «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
5. Какую физиологическую характеристику шума Вы знаете?
6. Что такое вибрация? Как подразделяется вибрация по способу передачи на человека?
7. Назовите основные физические характеристики вибрации, дайте их определения.
8. Как подразделяется общая вибрация?
9. Как воздействует шум и вибрация на организм человека? Какие профессиональные заболевания они вызывают?
10. Как осуществляется нормирование и контроль шума и вибрации на производстве? Назовите нормируемые параметры и нормативные документы.
11. Назовите способы и средства защиты от шума и вибрации на производстве.
12. Какие характеристики можно измерить с помощью шумомера ВШВ-003-М2?

ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». – Введ. 01.01.12. – Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2012. – 22 с.
2. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий: СанПиН № 2.2.4/2.1.8.10-33-2002. – Введ. 01.01.03. – Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2003. – 24 с.
3. Гармаза, А. К. Охрана труда: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по специальностям лесного профиля / А. К. Гармаза, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик. – Минск: БГТУ, 2010. – 366 с.

Лабораторная работа № 9

КОНТРОЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ И ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Цель работы: ознакомиться с факторами, влияющими на опасность поражения человека электрическим током, нормативными величинами и приборами для их измерения; научиться измерять сопротивление растеканию электрического тока в заземляющих устройствах и сопротивление изоляции токоведущих частей (электропроводов, кабелей).

Приборы и оборудование: М101М, М4124 – для измерения сопротивления изоляции; РНИ-1.1, М416, МС-08 – для измерения сопротивления заземляющего устройства.

1. Общие положения

Широкое использование электрической энергии во всех отраслях промышленности и быта обуславливает значительную опасность поражения человека электрическим током. Статистический анализ травматизма показывает, что количество электротравм в промышленности составляет всего около 0,5–1% от всех травм, однако на них приходится 15–20% летального исхода, причем до 80–85% электротравм со смертельным исходом происходит в сетях с напряжением до 1 кВ.

Опасность поражения электрическим током в значительной степени зависит от условий окружающей среды, в которых будет эксплуатироваться электрооборудование.

Согласно ТКП 339-2011 «Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний», помещения *по характеру окружающей среды* подразделяются на нормальные, сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные и с химически активной или органической средой.

Нормальные – сухие помещения, в которых отсутствуют признаки, свойственные помещениям жарким, пыльным, с химически активной или органической средой.

Сухие – помещения, относительная влажность воздуха в которых не превышает 60%.

Влажные – помещения, относительная влажность воздуха в которых более 60%, но не превышает 75%.

Сырые – помещения, относительная влажность воздуха в которых превышает 75%.

Особо сырые – относительная влажность воздуха в помещении близка к 100% (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

Жаркие – помещения, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура превышает постоянно или периодически (более одних суток) 35°C (например, помещения с сушилками, обжигательными печами, котельные).

Пыльные – по условиям производства в помещении выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь машин, аппаратов и т. п. Разделяются на помещения *с токопроводящей пылью* и помещения *с нетокопроводящей пылью*.

С химически активной или органической средой – помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

По степени опасности поражения людей электрическим током помещения подразделяются на три категории: помещения без повышенной опасности, помещения с повышенной опасностью и особо опасные помещения.

К помещениям **без повышенной опасности** относятся помещения, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность поражения людей электрическим током.

Помещения **с повышенной опасностью** характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность поражения людей электрическим током:

- высокая температура;
- сырость или токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т. п.);
- возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическими аппаратами, механизмам и т. п., с одной стороны, и

к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям) – с другой.

Особо опасные помещения характеризуются наличием одного из условий, создающих особую опасность поражения людей электрическим током:

- особо сырые;
- с химически активной или органической средой;
- одновременно два и более условий повышенной опасности.

Территории размещения открытых электроустановок по опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции.

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты от прямого прикосновения:

- основная изоляция токоведущих частей;
- ограждения и оболочки;
- установка барьеров;
- размещение вне зоны досягаемости;
- применение сверхнизкого (малого) напряжения.

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ следует применять устройства защитного автоматического отключения питания (например, устройство защитного отключения с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА).

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- защитное зануление;
- защитное автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;

- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Меры защиты от поражения электрическим током должны быть предусмотрены в электроустановке или ее части либо применены к отдельным электроприемникам и могут быть реализованы при изготовлении электрооборудования, либо в процессе монтажа электроустановки, либо в обоих случаях. Применение двух и более мер защиты в электроустановке не должно оказывать взаимного влияния, снижающего эффективность каждой из них.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться при более низких напряжениях (например, 25 В переменного и 60 В постоянного тока или 12 В переменного и 30 В постоянного тока).

Защита от прямого прикосновения не требуется, если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, а наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и 6 В переменного или 15 В постоянного тока – во всех остальных случаях.

Электрическая изоляция различных токоведущих проводов, частей оборудования (внутренние электрические сети, статорные обмотки электродвигателей, обмотки трансформаторов и т. п.) является основой обеспечения электробезопасности. Надежная и качественная электрическая изоляция может обеспечить 100% электробезопасность. Однако на практике электрическая изоляция может быть разрушена от механических повреждений, действия химически активной среды, повышенной температуры, неправильной эксплуатации электроустановок. При этом может появиться напряжение на корпусах, которые обычно не находятся под напряжением.

Различают рабочую, основную, дополнительную, двойную и усиленную электрическую изоляцию.

Рабочей называется электрическая изоляция токопроводящих жил, обеспечивающая нормальную работу электроустановок и защиту от поражения электрическим током.

Основная – изоляция токоведущих частей, обеспечивающая в том числе защиту от прямого прикосновения.

Дополнительная – независимая изоляция в электроустановках напряжением до 1000 В, выполняемая дополнительно к основной изоляции для защиты при косвенном прикосновении.

Двойная – изоляция в электроустановках, состоящая из основной и дополнительной изоляций.

Усиленная – изоляция в электроустановках, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, равноценную двойной изоляции.

Согласно ТКП 339-2011, сопротивление изоляции между любым проводом и землей, а также между любыми проводами на участке, между двумя соседними предохранителями в распределительной сети напряжением до 1000 В должно составлять **не менее 0,5 МОм (500 000 Ом)**.

Изоляцию электрических машин напряжением свыше 1000 В рассчитывают по формуле

$$R = \frac{U}{1000 + P/100}, \quad (9.1)$$

где R – сопротивление изоляции, МОм; U – напряжение, В; P – номинальная мощность, кВт.

Измерение сопротивления изоляции электрических установок производят после их монтажа, ремонта и периодически в процессе эксплуатации не реже одного раза в год в помещениях с повышенной опасностью и не реже двух раз в год в особо опасных помещениях.

Корпуса электрических машин, трансформаторов, светильников и другие металлические нетоковедущие части оборудования могут оказаться под напряжением при замыкании одной из фаз на корпус. Если корпус при этом не имеет контакта с землей, то прикосновение к нему также опасно, как и прикосновение к фазе.

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение металлических токопроводящих нетоковедущих частей оборудования (корпусов) с землей через естественные или искусственные заземлители.

В качестве естественных заземлителей могут быть использованы: металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей; металлические трубы водопровода, проложенные в земле; другие находящиеся в земле металлические конструкции и сооружения. Не допускается использовать в качестве заземлителей трубопроводы горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей, трубопроводы канализации и центрального отопления.

Искусственные заземлители могут быть из черной или оцинкованной стали, омедненными или медными. Искусственные заземлители не должны иметь окраски. Чаще всего это стержни из угловой стали, забитые в землю вертикально и соединенные между собой под землей приваренной к ним стальной полосой (рис. 9.1).

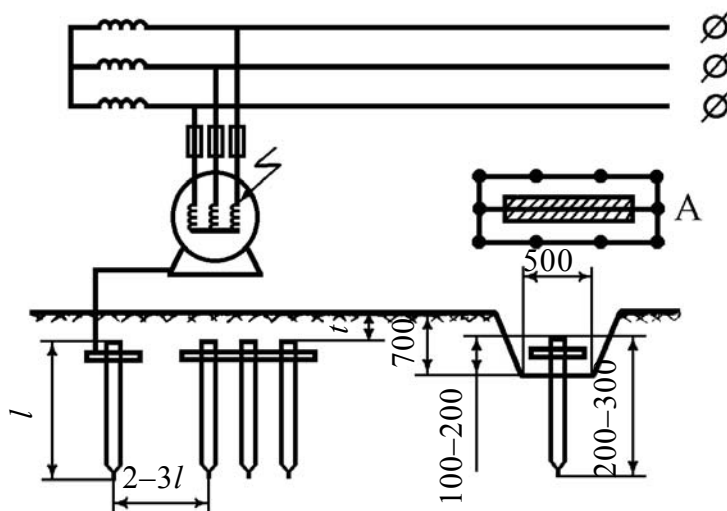


Рис. 9.1. Схема заземляющего устройства
А – расположение заземлителей в плане

Согласно ТКП 339-2011, для электроустановок напряжением до 1000 В при изолированной нейтрали трансформатора (генератора) сопротивление защитного заземления должно быть **не более 4 Ом**.

В случае пробоя одной из фаз электросети на корпус электродвигателя благодаря защитному заземлению напряжение, под которое может попасть человек, прикоснувшись к корпусу, значительно снижается. На корпусе электрического двигателя появляется напряжение, равное произведению тока замыкания на землю I_3 и сопротивления растеканию тока заземлителя R_3 :

$$U_k = I_3 \cdot R_3. \quad (9.2)$$

Ток однофазного замыкания на землю в сети напряжением до 1000 В обычно не превышает 10 А. Следовательно, напряжение на корпусе заземленного оборудования при замыкании составит $U_k = 10 \cdot 4 = 40 \text{ В}$.

Поэтому ток $I_{\text{чел}}$, проходящий через тело человека, тем меньше, чем меньше сопротивление заземлителя.

Каждое заземляющее устройство имеет паспорт, в котором указана его схема, основные расчетные данные, сведения о его ремонте и о

замерах сопротивления: после монтажа, в первый год после включения в работу и затем не реже 1 раза в 6 лет в энергосистемах, 1 раза в 3 года на подстанциях потребителей и ежегодно в цеховых электроустановках. Одновременно с измерением сопротивления проверяют целостность внешних заземляющих проводников, надежность присоединений естественных заземлителей, вскрывают (выборочно) грунт для осмотра электродов: не изъедены ли они коррозией и блуждающими токами. При обнаружении частей заземляющего устройства, пришедших в негодность и подверженных значительной коррозии, они должны быть заменены новыми.

В сетях с глухозаземленной нейтралью заземление как средство защиты не применяется. В этих сетях напряжение замкнувшей фазы распределяется между сопротивлениями заземления нейтрали и заземления оборудования. Поэтому напряжение U на заземленном оборудовании относительно земли зависит только от соотношения этих сопротивлений:

$$U = \frac{U_{\phi} \cdot R_3}{R_0 + R_3}, \quad (9.3)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение, В; R_3 – сопротивление заземления оборудования, Ом; R_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом. Если $R_3 = R_0$, то $U = 0,5 \cdot U_{\phi}$, В.

Следовательно, защитное заземление оборудования в сети с глухозаземленной нейтралью безопасность не обеспечивает.

Для защиты от поражения электрическим током в сетях с глухозаземленной нейтралью применяется зануление (рис. 9.2).

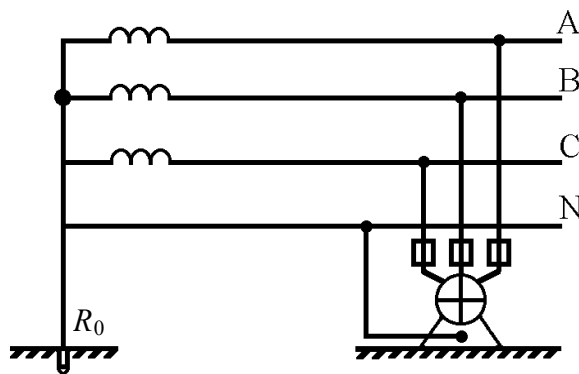


Рис. 9.2. Схема зануления оборудования

Занулением называется преднамеренное соединение металлических частей, корпусов оборудования, аппаратов, приборов, нор-

мально не находящихся под напряжением, с нулевым проводом с помощью металлического проводника.

Основная задача зануления состоит в том, чтобы превратить замыкание фазы на корпус в однофазное короткое замыкание и вызвать тем самым отключение поврежденного оборудования от сети. В течение всего времени, пока не сгорел предохранитель или не сработал автомат защиты, замыкание на один зануленный корпус (рис. 9.3) вызывает на всем зануленном оборудовании напряжение относительно земли, опасное для человека, которое определяется по формуле

$$U = I_{\text{к.з.}} \cdot R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{ф}}} \cdot R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{ф}}}{1 + (R_{\text{ф}} / R_{\text{н}})}, \quad (9.4)$$

где $I_{\text{к.з.}}$ – ток короткого замыкания, А; $R_{\text{н}}$ – сопротивление нулевого провода, Ом; $R_{\text{ф}}$ – сопротивление фазного провода, Ом.

Отношение $\frac{R_{\text{ф}}}{R_{\text{н}}} = 0,5$, тогда $U = \frac{220}{1 + 0,5} = 146 \text{ В}$.

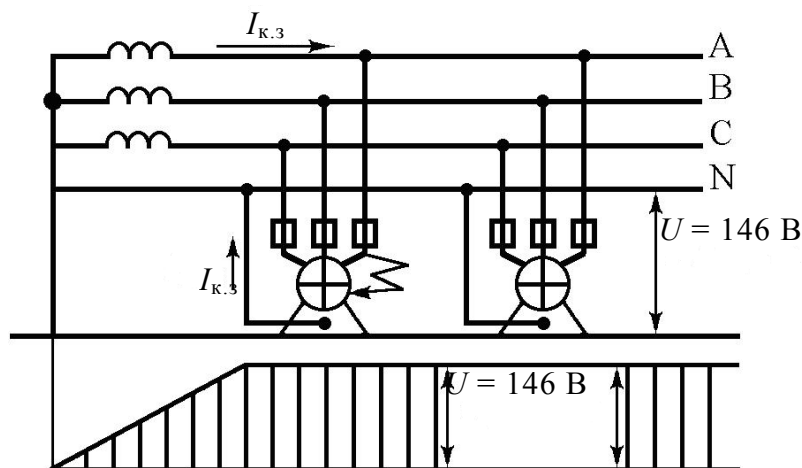


Рис. 9.3. Схема замыкания фазы на корпус зануленного оборудования

Безопасность может быть достигнута лишь при весьма кратковременном действии тока, т. е. при быстром срабатывании защиты.

Допустимое время воздействия напряжения, приложенного к телу человека, в зависимости от его величины представлено в табл. 9.1.

Однако применяемые в настоящее время системы защиты от поражения электрическим током на основе зануления (системы TN-C, TN-S, TN-C-S) не обеспечивают электробезопасность при случайном прикосновении к токоведущим частям оборудования при однофазном включении человека в электрическую сеть.

Таблица 9.1

**Зависимость допустимых значений напряжения электрического тока,
приложенного к телу человека, от времени его воздействия**

Время воздействия, с	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0
Допустимые напряжения, В	160	120	110	90	80	60	50

Безопасное для человека сочетание величины тока и времени его прохождения обеспечивается применением устройств защитного отключения (УЗО). **Защитное отключение** – это быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током.

Применение УЗО обеспечивает: защиту от косвенного прикосновения, когда человек касается корпуса электроустановки, оказавшегося под напряжением вследствие повреждения изоляции; защиту от прямого прикосновения, когда человек непосредственно касается фазного провода источника питания; защиту от пожара, который может возникнуть из-за чрезмерных токов утечки.

Применение УЗО является обязательным: для групповых линий, питающих розеточные сети, находящиеся вне помещений и в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью поражения электрическим током; для групповых линий в мобильных зданиях из металла или с металлическим каркасом; для электроустановок, в которых устройства защиты не обеспечивают нормируемого времени их отключения; для групповых линий, питающих электроприемники напряжением выше 25 В, монтируемые в ванных, душевых и парильных помещениях (кроме электроприемников, присоединенных к сети через разделительный трансформатор); для систем электрообогрева полов и др.

Устройства защитного отключения создаются на различных принципах действия. Существуют УЗО, реагирующие на ток нулевой последовательности; на напряжение нулевой последовательности; на токи и напряжения оперативных источников питания; на напряжение корпуса электроустановки относительно земли.

В электроустановках напряжением до 1000 В наиболее широко применяются УЗО, реагирующие на дифференциальный ток утечки. Схема такого однофазного УЗО приведена на рис. 9.4.

Датчиком устройства служит трансформатор тока утечки 2, кольцевой магнитопровод которого охватывает провода, питающие нагрузку 6 и играющие роль первичной обмотки. При отсутствии тока

утечки рабочие токи в прямом и обратном направлениях равны по величине. Они наводят в магнитопроводе противоположно направленные потоки Φ_1 и Φ_2 . Результирующий поток равен нулю, поэтому УЗО не срабатывает.

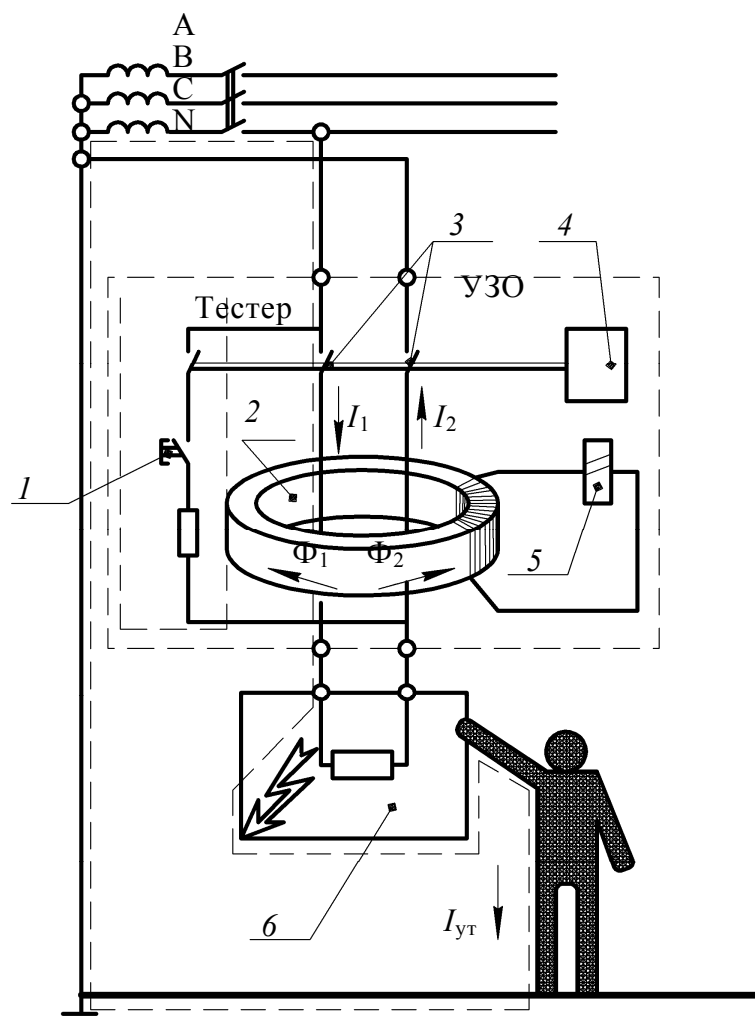


Рис. 9.4. Схема устройства защитного отключения:

1 – кнопка тестирования; 2 – трансформатор тока утечки; 3 – контакты;
4 – механизм отключения; 5 – обмотка магнитоэлектрической защелки;
6 – электрооборудование

При появлении тока утечки ток в прямом направлении I_1 превышает обратный ток I_2 на величину тока утечки $I_{ут}$. В сердечнике возникает магнитный поток небаланса, и по обмотке магнитоэлектрической защелки 5 протекает ток, вызывающий ее срабатывание и воздействие на механизм 4, отключающий контакты 3. УЗО срабатывает.

Для проверки исправности УЗО предусмотрена цепь тестирования 1 (кнопка «Тест»).

УЗО являются высокоэффективным и перспективным способом защиты. В то же время они не защищают электрическую сеть от токов коротких замыканий и перегрузок и должны применяться в комплекте с автоматическими выключателями или плавкими предохранителями.

Они используются в электроустановках до 1 кВ в дополнение к защитному занулению, а также в качестве основного или дополнительного способа защиты, когда другие способы малоэффективны.

Уравнивание потенциалов – электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов. **Защитное уравнивание потенциалов** – уравнивание потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности.

Выравнивание потенциалов – снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, либо путем применения специальных покрытий земли.

Электрическое разделение сетей – разделение сети на отдельные, электрически не связанные между собой участки с помощью разделительного трансформатора. Участки сети будут обладать значительно меньшей емкостью и более высоким значением сопротивления изоляции. Опасность поражения током при этом резко снижается.

Малые напряжения – напряжения, не требующие обязательного применения электрозащитных средств при работе с ручным электрифицированным инструментом. Они устанавливаются в зависимости от характеристики помещений по опасности поражения электрическим током. Для помещений без повышенной опасности – 220 В; для помещений с повышенной опасностью – 36 В; для особо опасных помещений – 12 В.

Малые напряжения применяют в целях уменьшения опасности поражения электрическим током. Они используются для питания электроинструментов, переносных светильников, местного освещения на производственном оборудовании.

Электрозащитные средства в зависимости от назначения подразделяются на изолирующие, ограждающие и вспомогательные.

Изолирующие защитные средства делят на основные и дополнительные. К *основным защитным* средствам относят те, изоляция которых рассчитана на рабочее напряжение электроустановки и допускает прикосновение к токоведущим частям. В электроустановках до 1 кВ это диэлектрические перчатки, изолирующие штанги, инструменты с изолированными ручками, токоизмерительные клещи, указатели напряжения.

В электроустановках напряжением выше 1 кВ – изолирующие штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи, указатели напряжения.

К *дополнительным* средствам защиты в электроустановках до 1 кВ относятся: диэлектрические галоши, коврики, изолирующие подставки. В электроустановках свыше 1 кВ – диэлектрические перчатки, боты, коврики, изолирующие подставки.

Ограждающие средства предназначены для временного ограждения токоведущих частей, а также для заземления отключенных токоведущих частей с целью устранения опасности при случайном появлении напряжения (временные заземления).

К *вспомогательным* средствам относятся защитные очки, рукавицы, предохранительные пояса, страховочные канаты, «когти» и др.

2. Описание работы приборов для контроля сопротивления заземляющего устройства и сопротивления изоляции электроустановок

2.1. Приборы для контроля сопротивления заземляющего устройства

Определение сопротивления заземляющего устройства на производстве ведется с помощью измерителя заземления РНИ-1.1, приборов М416, МС-08.

2.1.1. Работа с измерителем заземления РНИ-1.1

Перед началом работы производится проверка исправности прибора. Для этого переключатель диапазонов измерения «П₁» ставится в положение «X1», а переключатель рода работ «П₂» – в положение «Контроль».

Вращая рукоятку генератора со скоростью 120 об./мин, с помощью потенциометра «Р» стрелка гальванометра устанавливается в нулевое положение. Показания на лимбе потенциометра при исправном приборе должны быть равны $(10 \pm 0,5)$ Ом.

Затем прибор подключается к измеряемому заземлению в соответствии со схемой (рис. 9.5).

Переключатель «П₁» ставится в положение «X5», а «П₂» – в положение «Измерение». Вращая ручку прибора со скоростью 2 об./с, с помощью потенциометра стрелка гальванометра устанавливается на нуль. Величина измеряемого сопротивления устанавливается на лимбе потенциометра.

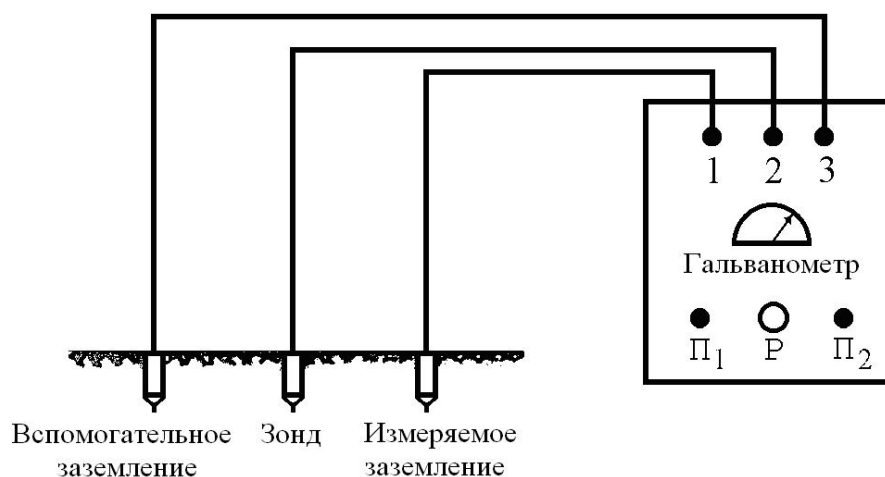


Рис. 9.5. Схема подключения прибора РНИ-1.1

Если величина сопротивления не превышает 10 Ом, то переключатель «П₁» ставится в положение «х1» и производится более точное измерение.

2.1.2. Работа с измерителем заземления МС-08

Собирается схема, как показано на рис. 9.6.

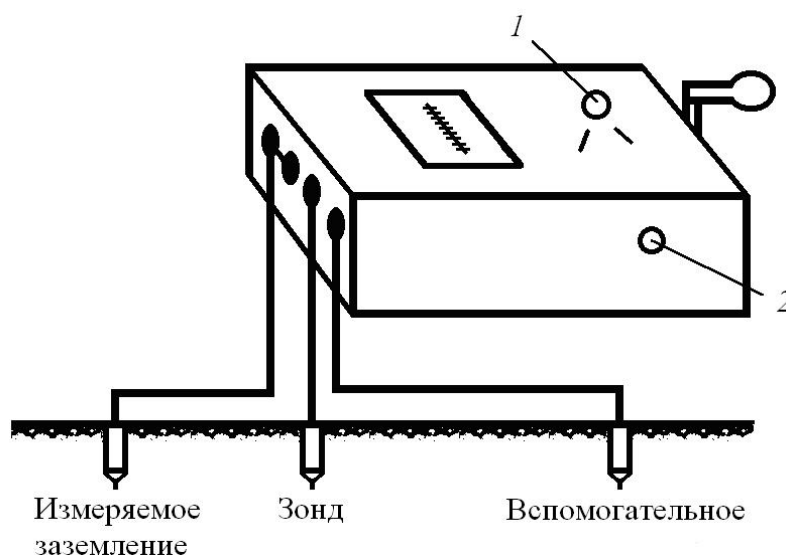


Рис. 9.6. Схема подключения прибора МС-08:
1 — переключатель; 2 — реостат

1. Перемычкой соединяются между собой зажимы «J₁» и «E₁» и присоединяются к измеряемому заземлению.
2. Зажим «E₂» присоединяется к зонду.
3. Зажим «J₂» — к вспомогательному заземлению.

Переключатель *1* ставится в положение «Регулировка».

Вращая ручку генератора по часовой стрелке со скоростью 120 об./мин, ручкой реостата *2* регулируется прибор, устанавливая стрелку прибора на красной отметке шкалы.

Внимание! Нельзя вращать ручку генератора при установке переключателя *1* в положении «Регулировка» и отсоединенном в это время заземлителе и зонде.

Переключатель *1* ставится в положение «Измерение $\times 0,1$ ».

Вращая ручку генератора, по шкале прибора отсчитывается величина измеряемого заземления и умножается на 0,1.

2.1.3. Работа с измерителем заземления М-416

Переключатель устанавливается в положение «Контроль 5 Ом».

Удерживая в нажатом состоянии красную кнопку, вращением ручки «Реохорд» стрелка индикатора выводится на нулевую отметку. На шкале реохорда при этом должно быть показание $(5 \pm 0,5)$ Ом.

Собирается схема, как показано на рис. 9.7.

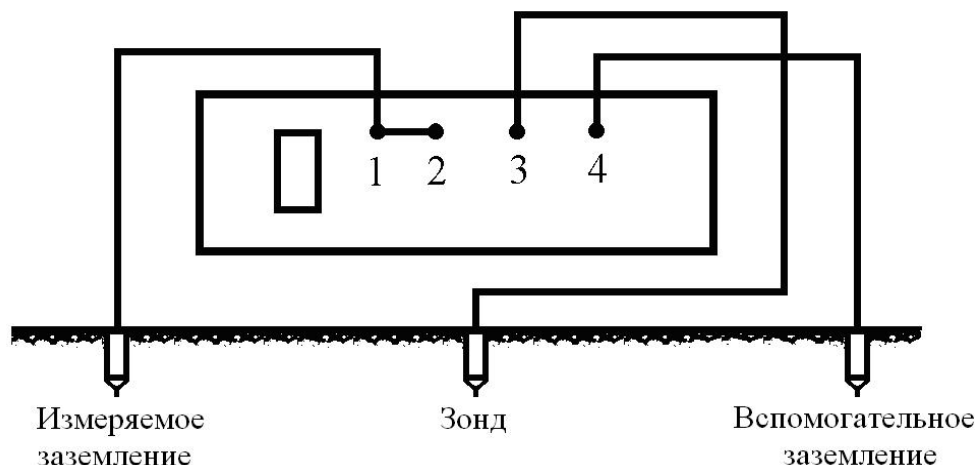


Рис. 9.7. Схема подключения прибора М-416

Переключатель устанавливается в положение « $\times 1$ ».

Удерживая в нажатом состоянии красную кнопку, вращением ручки «Реохорд» стрелка индикатора выводится на нулевую отметку. Результат определяется по шкале реохорда.

Если измеренное сопротивление окажется больше 10 Ом (стрелка индикатора не выводится на нулевую отметку), то переключатель устанавливается в положение « $\times 5$ », « $\times 20$ » или « $\times 100$ ». Результат измерения равен произведению показания шкалы реохорда и множителя.

2.2. Приборы для контроля сопротивления изоляции электроустановок

Измерение сопротивления изоляции электроустановок на производстве ведется с помощью приборов М1101М, М4124.

2.2.1. Работа с мегомметром М1101М

Прибор состоит из генератора постоянного тока с ручным приводом, логометра и добавочных сопротивлений.

Шкала прибора имеет два ряда отметок: правая шкала соответствует пределу измерения от 0 до 500 МОм, левая от 0 до 1000 кОм (рис. 9.8). Для переключения прибора на ту или иную шкалу имеется специальный переключатель «кОм/МОм». Измеряемое сопротивление присоединяется к зажимам «Линия» и «Земля».

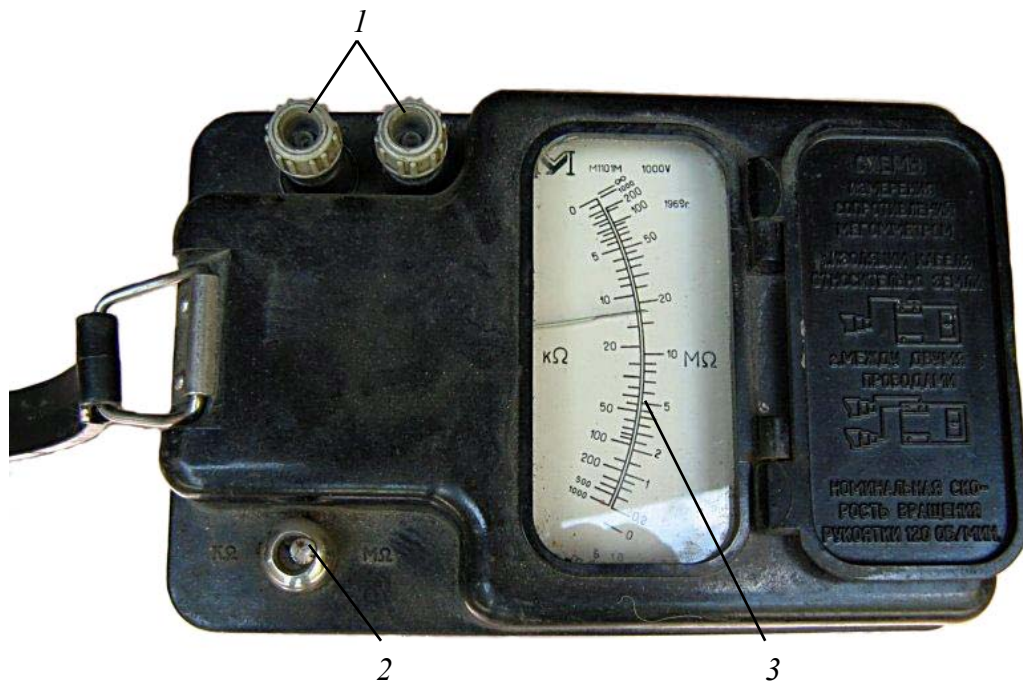


Рис. 9.8. Внешний вид мегомметра М1101М:
1 – зажимы «Линия» и «Земля»; 2 – переключатель «кОм/МОм»;
3 – измерительная шкала

Перед измерениями необходимо убедиться в отсутствии напряжения в испытуемых цепях и в исправности прибора. **Проводить измерения в цепях, находящихся под напряжением, запрещается!**

Для проверки исправности прибора необходимо: установить его горизонтально, отстегнуть ручку для переноски, открыть крышку

смотрового окна, переключатель пределов измерения « $k\Omega/M\Omega$ » поставить в положение « $M\Omega$ », установить ручку генератора в рабочее положение (находится с правой стороны прибора).

В исправном приборе при вращении рукоятки по часовой стрелке со скоростью 120 об./мин стрелка должна установиться на отметке « ∞ » шкалы « $M\Omega$ ».

Для измерения сопротивления жил кабеля относительно земли к клемме «Земля» прибора подключается с помощью соединительного провода исправное (допустимое по ТКП 339-2011) заземляющее устройство, а к клемме «Линия» – поочередно все жилы кабеля. Переключатель пределов измерения устанавливается в положение « $M\Omega$ ». Плавное вращение рукоятки прибора по часовой стрелке с номинальной скоростью 120 об./мин, производится отсчет по соответствующей шкале.

Для измерения сопротивления всех жил кабеля относительно друг друга жилы, сопротивление которых измеряется, подключаются к клеммам прибора, причем не имеет значения, какую жилу и к какой клемме подключать.

2.2.2. Работа с прибором M4124

При измерении сопротивления изоляции жил кабеля относительно земли подсоединить одну клемму прибора к исправному (допустимому по ТКП 339-2011) заземляющему устройству, а вторую – к жиле кабеля, у которой контролируется изоляция.

Нажать на одну из кнопок в соответствии с величиной измеряемого сопротивления и произвести отсчет величины сопротивления изоляции по соответствующей шкале прибора.

При измерении сопротивления жил кабеля относительно друг друга к прибору присоединяются обе контролируемые жилы.

2.3. Порядок выполнения работы

Лабораторный стенд разделен на две части. Слева выведены три клеммы, эмитирующие измеряемые заземляющие устройства, а также клеммы «Зонд» и «Вспомогательное заземление». Справа выведены шесть клемм, эмитирующих жилы шестижильного кабеля.

Измерение сопротивления заземляющего устройства и изоляции электропроводов производится в лабораторной работе одним из указанных в п. 2.1 приборов.

Перед началом работы необходимо выяснить у преподавателя, какие приборы в данный момент используются для измерений.

1. При измерении сопротивления заземляющего устройства необходимо измерить три заземления и определить, какие из них соответствуют требованиям ТКП 339-2011.

Измерения произвести в соответствии с описанием работы используемого в данный момент прибора согласно п. 2.1. Результаты измерений и выводы о сопротивлении заземлителей занести в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Результаты измерения сопротивления заземлителей

Номер заземлителя	Величина сопротивления, Ом	Выводы о качестве заземления (допустимо, недопустимо)
1		
2		
3		

2. Для измерения сопротивления изоляции проводов шестижильного кабеля используйте описание работы используемого в данный момент прибора согласно п. 2.2.

Измерение сопротивления жил кабеля относительно земли проводить, используя исправное заземление (из трех, измеренных выше). При измерении сопротивления всех жил кабеля относительно друг друга вначале измеряется сопротивление 1-й жилы кабеля относительно оставшихся 2-й, 3-й, ..., 6-й; затем 2-й жилы относительно – 3-й, 4-й, 5-й, 6-й и т. д. Результаты измерений занести в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Результаты измерения сопротивления изоляции проводов

Сопротивление изоляции жил кабеля относительно друг друга, МОм							Сопротивление изоляции жил кабеля относительно земли, МОм	Вывод о качестве изоляции (допустимо, недопустимо)
–	1	2	3	4	5	6		
1	–							
2		–						
3			–					
4				–				
5					–			
6						–		

Указать, между какими парами жил сопротивление недопустимо.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как подразделяются помещения по характеру окружающей среды согласно ТКП 339-2011?
2. Классификация помещений по опасности поражения электрическим током и применяемые малые напряжения.
3. Назовите виды электрической изоляции.
4. Требования, предъявляемые к изоляции электрических проводов и периодичность контроля.
5. Какие способы и средства используются для обеспечения электробезопасности?
6. В каких сетях применяется защитное заземление оборудования?
7. Как выполняется защитное заземление оборудования?
8. Какие факторы влияют на эффективность заземляющего устройства? Периодичность контроля.
9. В каких сетях применяется зануление электрического оборудования?
10. Как выполняется зануление оборудования?
11. Какие электрозащитные средства Вы знаете?
12. Приборы контроля сопротивления заземляющих устройств и изоляции электрических проводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний: ТКП 339-2011. – Введ. 01.12.11. – Минск: Минэнерго, 2011. – 593 с.
2. Челноков, А. А. Охрана труда: учебник / А. А. Челноков, И. Н. Жмыхов, В. Н. Цап; под общ. ред. А. А. Челнокова. – Минск: Выш. шк., 2011. – 671 с.
3. Гармаза, А. К. Охрана труда: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по специальностям лесного профиля / А. К. Гармаза, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик. – Минск: БГТУ, 2010. – 366 с.

Лабораторная работа № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

Цель работы: исследовать степень опасности поражения электрическим током в трехфазных сетях напряжением до 1 кВ; ознакомиться с факторами, влияющими на опасность поражения человека электрическим током; исследовать эффективность защитного заземления и зануления.

Приборы и оборудование: лабораторный стенд ОТ 10.

1. Общие положения

Электрические установки, с которыми приходится иметь дело практически всем работающим на производстве, представляют потенциальную опасность. Опасность эксплуатации электроустановок состоит в том, что токоведущие проводники (или корпуса машин, оказавшиеся под напряжением в результате повреждения изоляции) не подают сигналов опасности, на которые реагирует человек. Реакция человека на электрический ток возникает лишь после его прохождения через ткани.

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействия. *Термическое действие тока* проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца и других органов, находящихся на пути тока, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства. *Электролитическое действие тока* проявляется в разложении органических жидкостей, в том числе и крови, что сопровождается значительными нарушениями их физико-химического состава. *Механическое действие тока* выражается в разрыве, расслоении и других повреждениях различных тканей организма, в том числе мышечной ткани, стенок кровеносных сосудов, сосудов легочной ткани и др. *Биологическое действие тока* проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в

нормально действующем организме и связанных с его жизненными функциями.

Электрический ток, проходя через организм, раздражает живые ткани, вызывая в них ответную реакцию – возбуждение, являющееся одним из основных физиологических процессов. Например, если электрический ток проходит непосредственно через мышечную ткань, то возбуждение, обусловленное раздражающим действием тока, проявляется в виде непроизвольного сокращения мышц. Это так называемое прямое, или непосредственное, раздражающее действие тока на ткани, по которым он проходит.

Однако действие тока может быть не только прямым, но и рефлекторным, то есть осуществляться через центральную нервную систему. Ток может вызывать возбуждение и тех тканей, которые не находятся у него на пути. Проходя через тело человека, он вызывает раздражение рецепторов – особых клеток, имеющих в большом количестве во всех тканях организма и обладающих высокой чувствительностью к воздействию факторов внешней и внутренней среды. Центральная нервная система перерабатывает нервный импульс и передает его к рабочим органам: мышцам, железам, сосудам, которые могут находиться вне зоны прохождения тока.

Различают два вида поражения электрическим током: *электрические травмы*, результатом которых являются внешние поражения тела – ожоги, электрические знаки, электрометаллизация кожи, механические повреждения, электроофтальмия, и *электрический удар*, связанный с поражением всего организма.

Электрический ожог возможен при прохождении через тело человека токов более 1 А. В тканях, по которым проходит ток, выделяется некоторое количество теплоты, пропорциональное приложенному напряжению и протекающему току. При нагреве тканей до температуры 60–70°C происходит свертывание белков и возникает ожог. Такие ожоги проникают глубоко в ткани и могут привести к частичной или полной инвалидности. Возможны ожоги электрической дугой, возникающей в электроустановках напряжением 35 кВ и выше между токоведущими частями электроустановки и телом человека при приближении на опасное расстояние, а также электрической дугой, возникающей в электроустановках до 1000 В между токоведущими частями и человеком, попадающим в зону действия этой дуги.

Электрические знаки возникают в местах контакта с токоведущими частями. Они представляют собой затвердевшую в виде мозоли кожу серого или желтовато-белого цвета. Края электрического знака

резко очерчены белой или серой каймой. Электрические знаки безболезненны, но при глубоких поражениях больших участков тканей могут привести к нарушению функций пораженного органа.

Электрометаллизация кожи – проникновение под поверхность кожи частиц металла вследствие разбрызгивания и испарения под действием тока (например, при возникновении электрической дуги) или электролиза в местах соприкосновения с токоведущими частями электрооборудования. Со временем поврежденный участок кожи восстанавливается и болезненные явления исчезают.

Электроофтальмия – поражение глаз в результате воздействия ультрафиолетового излучения электрической дуги или ожогов.

Электрический удар наблюдается при воздействии малых токов и небольших напряжений до 1000 В. Ток действует на нервную систему и на мышцы, при этом может возникнуть паралич пораженных органов.

Экспериментальные исследования показали, что человек начинает ощущать раздражающее действие переменного тока промышленной частоты силой 0,6–1,6 мА и постоянного тока 5–7 мА. Эти токи не представляют серьезной опасности для деятельности организма человека, и так как при такой силе тока возможно самостоятельное освобождение человека от контакта с токоведущими частями, то допустимо его длительное протекание через тело человека.

В тех случаях, когда раздражающее действие тока становится настолько сильным, что человек не в состоянии освободиться от контакта, возникает опасность длительного протекания тока через тело человека. Длительное воздействие таких токов может привести к затруднению и нарушению дыхания. Для переменного тока промышленной частоты сила неотпускающего тока находится в пределах 6–20 мА и более. Постоянный ток не вызывает неотпускающего эффекта, а приводит к сильным болевым ощущениям, они возникают при прохождении тока 15–80 мА и более.

При протекании тока в несколько сотых долей ампера возникает опасность нарушения работы сердца. Может возникнуть фибрилляция сердца, то есть беспорядочные, некоординированные сокращения волокон сердечной мышцы, при этом сердце не в состоянии гнать кровь по сосудам, происходит остановка кровообращения. Фибрилляция длится, как правило, несколько минут, после чего происходит энергетическое истощение сердечной мышцы и следует полная остановка сердца. Как показывают экспериментальные исследования, пороговые фибрилляционные токи зависят от массы организма, длительности протекания тока и его пути. Верхний предел фибрилляционного то-

ка – 5 А. Ток больше 5 А как переменный, так и постоянный вызывает немедленную остановку сердца, минуя состояние фибрилляции.

Кроме величины протекающего через тело человека тока в исходе поражения большое значение имеет его путь. Поражение будет более тяжелым, если на пути тока оказываются сердце, легкие, головной и спинной мозг.

В практике обслуживания электроустановок ток, протекающий через тело человека, попавшего под напряжение, идет чаще всего по пути «рука – рука» или «рука – нога». Возможных путей тока в теле человека (петли тока) достаточно много, причем наибольшую опасность представляют петли, проходящие через область сердца. При протекании тока по пути «нога – нога» через сердце проходит 0,4% общего тока, по пути «рука – рука» 3,3%, «левая рука – ноги» 3,7%, «правая рука – ноги» 6,7%, «голова – ноги» 6,8%, «голова – руки» 7%.

Сила неотпускающего тока по пути «рука – рука» приблизительно в два раза меньше, чем по пути «рука – нога».

Ток, протекающий через тело человека, попавшего под напряжение, зависит в первую очередь, от величины приложенного напряжения и длительности его воздействия. С увеличением напряжения и длительности его воздействия сопротивление тела человека уменьшается, что приводит к увеличению протекающего тока.

Основным сопротивлением в цепи тока через тело человека является верхний роговой слой кожи, толщина которого составляет 0,05–0,2 мм. Сопротивление внутренних тканей не превышает 800–1000 Ом.

Зависимость сопротивления тела человека от величины приложенного напряжения и величина протекающего тока приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Зависимость сопротивления тела человека от величины приложенного напряжения и величины протекающего тока

Показатели	Зависимость величин					
Приложенное напряжение, В	6,0	18	75	80	100	175
Сопротивление тела человека, кОм	6,0	3,0	1,15	1,065	1,0	0,7
Ток, проходящий через человека, мА	1,0	6,0	65	75	100	250

Сопротивление тела человека изменяется в широких пределах в зависимости от состояния кожи (сухая, влажная, чистая, поврежденная и т. п.), плотности и площади контакта, времени воздействия тока и др.

Реальное сопротивление тела человека может быть от 1000 до 100 000 Ом. Для расчетов по электробезопасности принимают величину, равную 1000 Ом.

На опасность поражения электрическим током влияют индивидуальные особенности людей. Ток, вызывающий лишь слабые ощущения у одного человека, может быть неотпускающим для другого в зависимости от состояния нервной системы, массы тела, физического развития, пола и всего организма в целом. Установлено, что для женщин пороговые значения тока приблизительно в 1,5 раза ниже. У одного и того же человека пороговые значения тока изменяются в зависимости от состояния организма, нервной системы, утомления и т. п.

Опасность поражения электрическим током зависит также от частоты тока, переменный ток частотой 50 Гц является самым неблагоприятным. Установлено, что сила фибрилляционного тока при 400 Гц примерно в 3,5 раза больше, чем при частоте 50 Гц, поэтому повышение частоты тока применяют как одну из мер повышения электробезопасности.

Статистика электротравматизма показывает, что до 85% смертельных поражений людей электрическим током приходится в результате прикосновения пострадавшего непосредственно к токоведущим частям, находящимся под напряжением. При этом в сетях с номинальным напряжением до 1 кВ величина тока, протекающего через человека, а следовательно, и опасность поражения зависят от условий включения человека в электрическую цепь и характеристики сети (режима нейтрали).

Электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяются:

- на электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью.

Заземленной нейтралью называется нейтраль генератора или трансформатора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

Изолированной нейтралью называется нейтраль генератора или трансформатора, не присоединенная к заземляющему устройству или

присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты и подобные устройства, имеющие большое сопротивление.

В электрических сетях *напряжением до 1 кВ* используются следующие системы.

1. **Система TN** – система, в которой нейтраль источника питания глухозаземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников.

Подразделяется на следующие подсистемы:

подсистема TN-C – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (рис. 10.1);

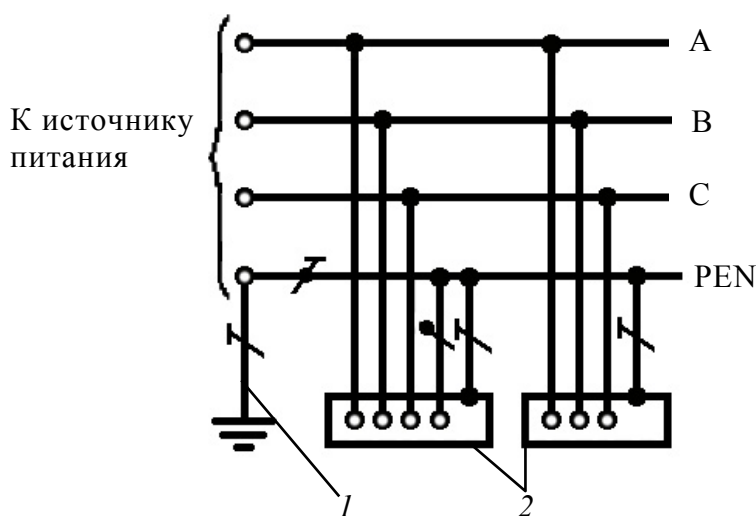


Рис. 10.1. Подсистема TN-C переменного тока:
1 – заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания;
2 – открытые проводящие части

подсистема TN-S – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (рис. 10.2);

подсистема TN-C-S – система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания (рис. 10.3).

2. **Система IT** – система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены (рис. 10.4).

3. **Система TT** – система, в которой нейтраль источника питания глухозаземлена, а открытые проводящие части электроустановки за-

землены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника (рис. 10.5).

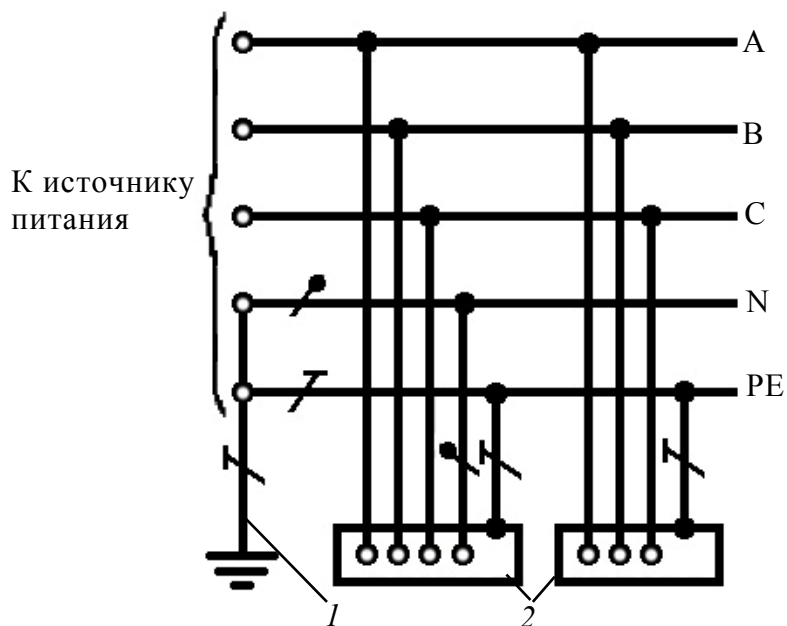


Рис. 10.2. Подсистема TN-S переменного тока:
1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока;
2 – открытые проводящие части

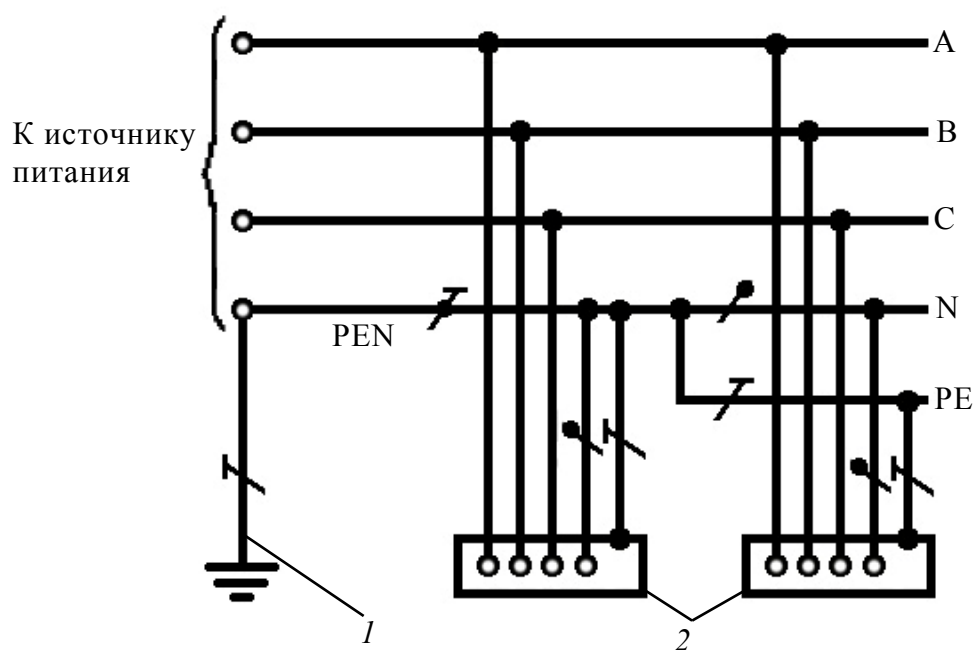


Рис. 10.3. Подсистема TN-C-S переменного тока:
1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока;
2 – открытые проводящие части

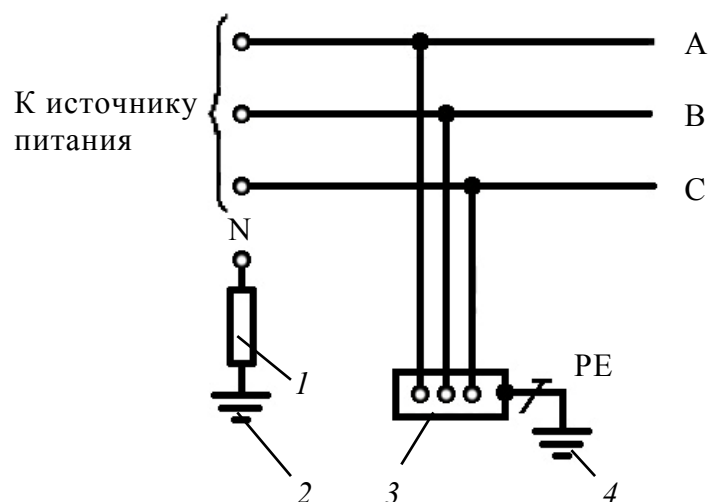


Рис. 10.4. Система IT переменного тока:

1 – сопротивление заземления нейтрали источника питания (если имеется);
2 – заземлитель; *3* – открытые проводящие части;
4 – заземляющее устройство электроустановки

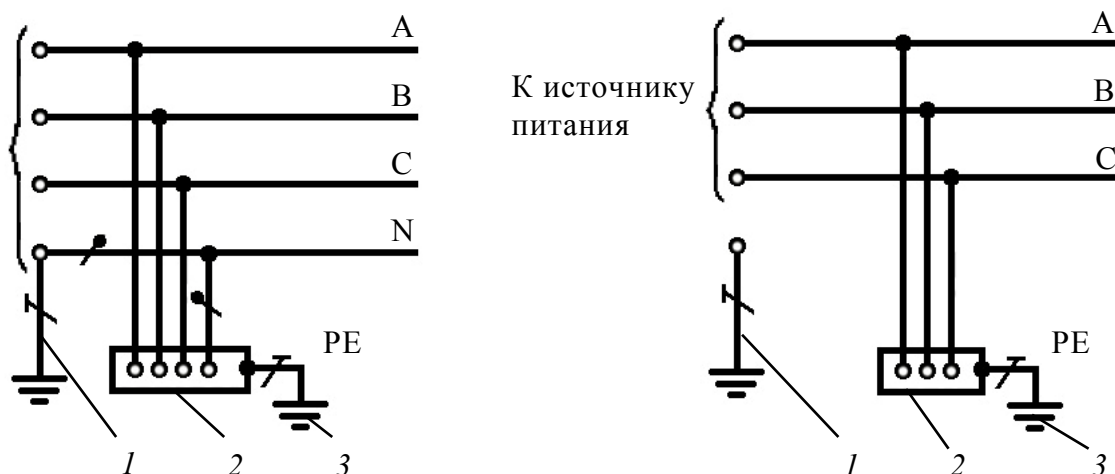




Рис. 10.5. Система TT переменного тока:


1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; *2* – открытые проводящие части; *3* – заземлитель открытых проводящих частей электроустановки

В названиях систем (подсистем) приняты следующие обозначения:
 первая буква – состояние нейтрали источника питания относительно земли: Т – заземленная нейтраль; I – изолированная нейтраль;
 вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли: Т – открытые проводящие части заземлены независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети; N – открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания;

последующие (после N) буквы – совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников: S – нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники разделены; C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (PEN-проводник);

N –  – нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

PE –  – защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);

PEN –  – совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

Электроустановки напряжением до 1 кВ жилых, общественных и промышленных зданий и наружных установок должны, как правило, получать питание от источника с глухозаземленной нейтралью с применением системы TN. Для защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания.

Питание электроустановок напряжением до 1 кВ переменного тока от источника с изолированной нейтралью с применением системы IT следует выполнять, как правило, при недопустимости перерыва питания во время первого замыкания на землю или на открытые проводящие части, связанные с системой уравнивания потенциалов. В таких электроустановках для защиты при косвенном прикосновении при первом замыкании на землю должно быть выполнено защитное заземление в сочетании с контролем изоляции сети или применены УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА. При двойном замыкании на землю должно быть выполнено автоматическое отключение питания.

Питание электроустановок напряжением до 1 кВ от источника с глухозаземленной нейтралью и с заземлением открытых проводящих частей при помощи заземлителя, не присоединенного к нейтрали (система TT), допускается только в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе TN не могут быть обеспечены. Для защиты при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания с обязательным применением устройства защитного отключения (УЗО). О том, как работает УЗО подробно описано в лабораторной работе № 9.

Поражение электрическим током может произойти в следующих случаях: при однофазном прикосновении не изолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановки,

находящимся под напряжением (прикосновение к одной из фаз, находящейся под напряжением); при приближении человека, не изолированного от земли, на опасное расстояние к токоведущим, не защищенным изоляцией частям электроустановок, находящихся под напряжением; при прикосновении человека, не изолированного от земли, к корпусам электрических машин, трансформаторов, светильников и другим металлическим нетокоевущим частям оборудования, которые могут оказаться под напряжением при замыкании одной из фаз на корпус; при освобождении другого человека, находящегося под напряжением; при контакте с двумя точками в поле растекания тока, имеющими разные потенциалы (включение под напряжение шага); при двухфазном прикосновении (одновременное прикосновение к двум неизолированным частям электроустановки, находящимся под напряжением разных фаз).

Поражение человека при случайном прикосновении к токоведущим частям электрической сети зависит от схемы прикосновения, напряжения сети, схемы самой сети, режима нейтрали сети, качества изоляции токоведущих частей от земли, емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

Наибольшую опасность представляет двухфазное прикосновение.

При двухфазном (двухполюсном) прикосновении (рис. 10.6), независимо от вида сетей, человек попадает под полное линейное (рабочее) напряжение сети и величина тока, проходящего через тело человека, зависит только от напряжения сети и сопротивления тела человека:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{чел}}}, \quad (10.1)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение сети, В; $R_{\text{чел}}$ – условное сопротивление тела человека, 1000 Ом.

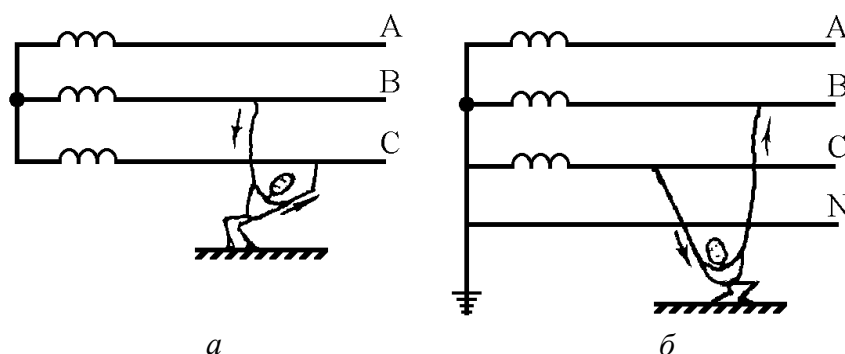


Рис. 10.6. Схема двухфазного включения человека в электрическую сеть:
 а – сеть с изолированной нейтралью; б – сеть с глухозаземленной нейтралью

При однофазном включении в сеть с изолированной нейтралью (рис. 10.7, а) величина тока, проходящего через человека, определяется по формуле

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot (R_{\text{чел}} + (R_{\text{из}}/3))}, \quad (10.2)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение, В; $R_{\text{чел}}$ – сопротивление тела человека, Ом; $R_{\text{из}}$ – сопротивление изоляции фаз, Ом.

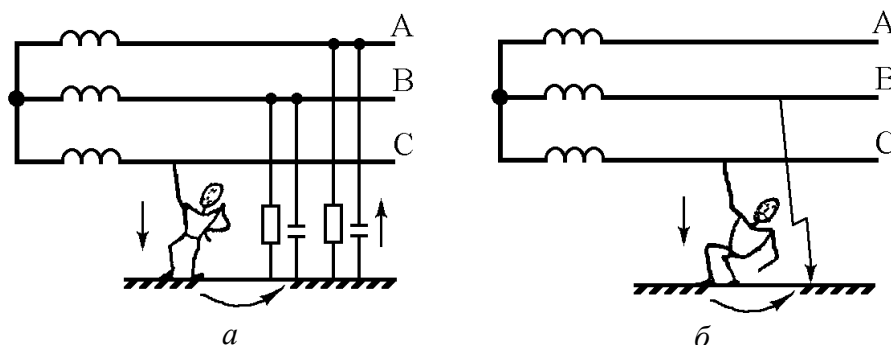


Рис. 10.7. Схема однофазного включения в сеть с изолированной нейтралью: а – при хорошей изоляции; б – при аварийном режиме

Условия безопасности в этом случае находятся в прямой зависимости от сопротивления изоляции фаз относительно земли: чем лучше изоляция, тем меньше ток, протекающий через человека.

Однако в аварийном режиме, когда одна из фаз замыкает на землю или корпус оборудования (рис. 10.7, б) или сопротивление изоляции мало, человек может оказаться под полным линейным напряжением:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}}}, \quad (10.3)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение, В; $R_{\text{чел}}$ – сопротивление тела человека, Ом; $R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви, Ом; $R_{\text{п}}$ – сопротивление пола, Ом.

При однофазном включении в сеть с заземленной нейтралью (рис. 10.8) человек попадает под фазное напряжение независимо от величины сопротивления изоляции фаз.

Величина тока, проходящего через человека, в этом случае определяется по формуле

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_{\text{з}}}, \quad (10.4)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение, В; $R_{\text{чел}}$ – сопротивление тела человека, Ом; $R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви, Ом; $R_{\text{п}}$ – сопротивление пола, Ом; R_3 – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

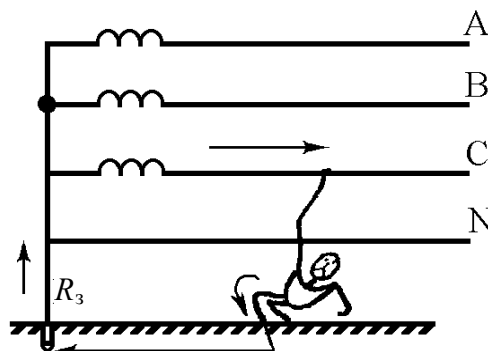


Рис. 10.8. Схема однофазного включения в сеть с заземленной нейтралью

Условия электробезопасности зависят и от параметров окружающей среды (влажность, температура, наличие токопроводящей пыли, материал пола и др.).

Тяжесть поражения током зависит от плотности и площади контакта человека с частями, находящимися под напряжением. Наличие заземленных металлических конструкций и полов приводит к тому, что человек практически постоянно связан с одним полюсом (землей) электроустановки. В этом случае любое прикосновение человека к токоведущим частям сразу приводит к двухполюсному включению его в электрическую цепь. Токоведущая пыль и влага создают дополнительные условия для электрического контакта, как с токоведущими частями, так и с землей.

В процессе эксплуатации электроустановок может возникнуть замыкание на корпус установки. Под **замыканием на корпус** понимают случайное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки. Замыкание на корпус может быть результатом случайного касания токоведущей части корпуса машины, повреждения изоляции, падения провода, находящегося под напряжением, на нетоковедущие металлические части и т. п.

Если корпус электроустановки имеет связь с землей через специальное заземляющее устройство или фундамент, то в этом случае в сети с изолированной нейтралью в точке замыкания на землю протекает ток, обусловленный сопротивлением изоляции других исправных фаз. На земле (полу) возникает поле растекания тока.

На поверхности земли точки с одинаковым потенциалом будут иметь вид концентрических окружностей с центром в месте замы-

кания на землю. Потенциал точек, находящихся на расстоянии 20 м и более от места замыкания принимается равным нулю. Наибольший потенциал будет в точке замыкания на землю. Характер изменения потенциала в поле растекания тока имеет гиперболическую зависимость (рис. 10.9).

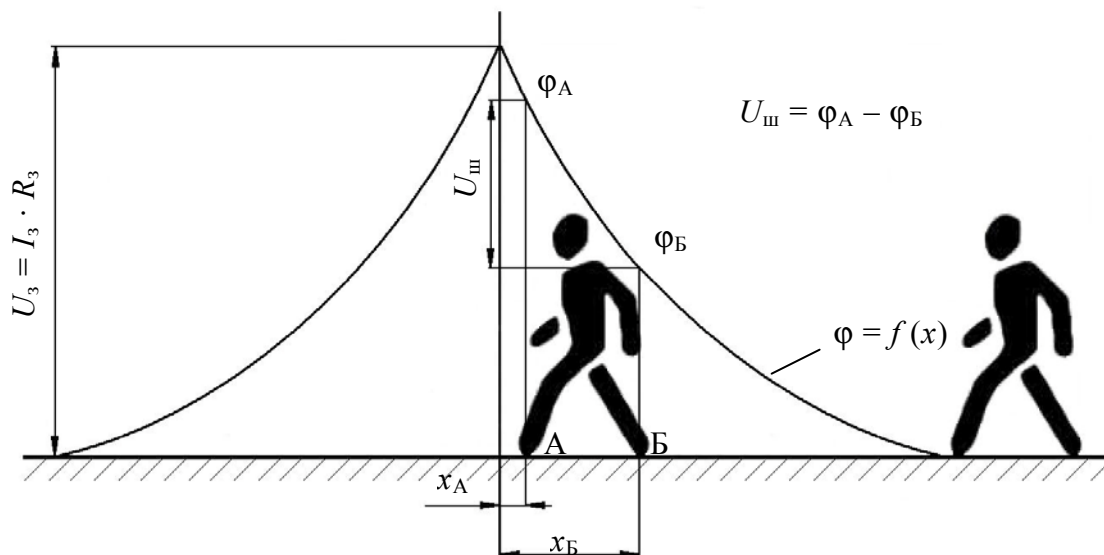


Рис. 10.9. Характер изменения потенциала в поле растекания тока: φ_A – потенциал в точке А; φ_B – потенциал в точке Б; $U_{ш}$ – шаговое напряжение

Напряжение на корпусе оборудования U_k относительно точки с нулевым потенциалом будет равно напряжению на заземлителе U_3 :

$$U_k = U_3 = I_3 \cdot R_3, \quad (10.5)$$

где I_3 – ток замыкания на землю, А; R_3 – сопротивление заземляющего устройства, Ом.

Человек, находящийся в зоне растекания тока и касающийся при этом корпуса оборудования, оказывается под напряжением прикосновения, величина которого зависит от разности потенциалов точки, на которой стоят ноги человека и точки замыкания на землю. С увеличением расстояния до точки замыкания сети на землю напряжение прикосновения увеличивается.

Находясь в зоне растекания тока замыкания на землю, человек оказывается под напряжением шага. **Напряжением шага** называется разность потенциалов двух точек в поле растекания тока, находящихся на расстоянии 0,8 м друг от друга (расстояние шага). Величина напряжения шага и напряжения прикосновения зависит от формы потенциальной кривой, расстояния до места замыкания, сопротивления обуви.

Наибольшая величина напряжения шага будет вблизи заземлителя, особенно если человек одной ногой стоит над заземлителем (точка с максимальным потенциалом равным U_3), а второй – на расстоянии шага от заземлителя. Напряжение шага будет равно нулю, если обе ноги человека находятся на эквипотенциальной линии (на точках с одинаковым потенциалом). В электрических сетях напряжением до 1 кВ на расстоянии более 5 м напряжение шага практически не ощущается.

Для предотвращения поражений человека электрическим током при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся в результате аварии под напряжением, применяют различные меры защиты: защитное заземление, зануление, защитное отключение, выравнивание потенциалов и др.

В сетях с напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью (системы IT) применяется защитное заземление (рис. 10.10). **Защитное заземление** – преднамеренное электрическое соединение металлических токопроводящих нетоковедущих частей оборудования (корпусов) с землей через естественные или искусственные заземлители.

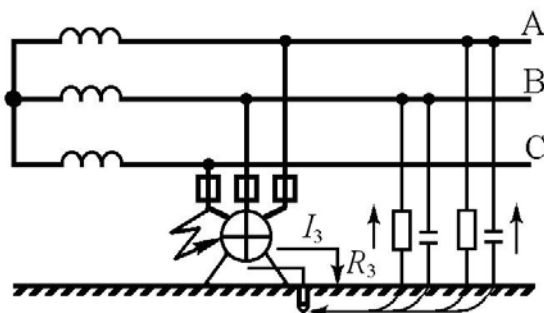


Рис. 10.10. Схема защитного заземления оборудования

Ток замыкания на землю в таких сетях не превышает 10 А.

В соответствии с ТКП 339-2011 сопротивление заземления не должно превышать 4 Ом. Напряжение, под которое может попасть человек в результате замыкания на корпус, определяется по формуле

$$U = I_3 \cdot R_3, \quad (10.6)$$

где I_3 – ток замыкания на землю, А; R_3 – сопротивление заземляющего устройства, Ом.

В сетях с заземленной нейтралью заземление как средство защиты не применяется.

В этих сетях напряжение замкнувшей фазы распределяется между сопротивлениями заземления нейтрали и заземления оборудования.

Отсюда напряжение на заземленном оборудовании относительно земли зависит только от соотношения этих сопротивлений:

$$U = \frac{U_{\phi} \cdot R_3}{R_0 + R_3}, \quad (10.7)$$

где R_3 – сопротивление заземления оборудования, Ом; R_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

Если $R_3 = R_0$, то $U = 0,5 \cdot U_{\phi}$, В.

Следовательно, защитное заземление оборудования в сети с заземленной нейтралью безопасность не обеспечивает.

Для защиты от поражения электрическим током в сетях с заземленной нейтралью (системы TN) применяется зануление (рис. 10.11).

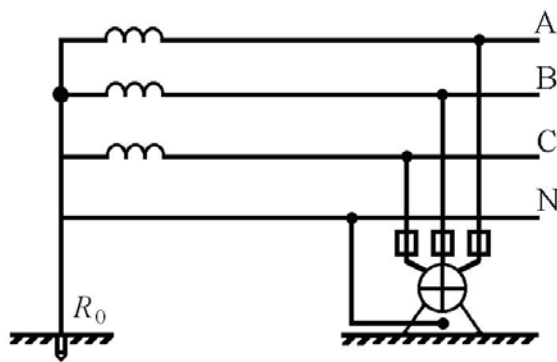


Рис. 10.11. Схема зануления оборудования

Занулением называется преднамеренное соединение металлических частей, корпусов оборудования, аппаратов, приборов, нормально не находящихся под напряжением, с нулевым проводом.

Основная задача зануления состоит в том, чтобы превратить замыкание фазы на корпус в однофазное короткое замыкание и вызвать тем самым отключение поврежденного оборудования от сети. В течение всего времени, пока не сгорел предохранитель или не сработал автомат защиты, замыкание на один зануленный корпус вызывает на всем зануленном оборудовании напряжение U (относительно земли), опасное для человека, которое определяется по формуле

$$U = I_3 \cdot R_n = \frac{U_{\phi}}{R_n + R_{\phi}} \cdot R_n = \frac{U_{\phi}}{1 + (R_{\phi} / R_n)}, \quad (10.8)$$

где I_3 – ток короткого замыкания, А; R_n – сопротивление нулевого провода, Ом; R_{ϕ} – сопротивление фазного провода, Ом.

При отношении $\frac{R_{\phi}}{R_n}=0,5 \quad U = \frac{220}{1+0,5} = 146 \text{ В.}$

Безопасность может быть достигнута лишь при весьма кратковременном действии тока, т. е. при быстром срабатывании защиты.

В системе TN время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы TN

Номинальное фазное напряжение, В	120	230	400	более 400
Время отключения, с	0,8	0,4	0,2	0,1

2. Экспериментальная часть

2.1. Характеристика лабораторного стенда ОТ 10

Исследования степени опасности поражения человека электрическим током проводятся на лабораторном стенде ОТ 10, принципиальная схема которого приведена на рис. 10.12.

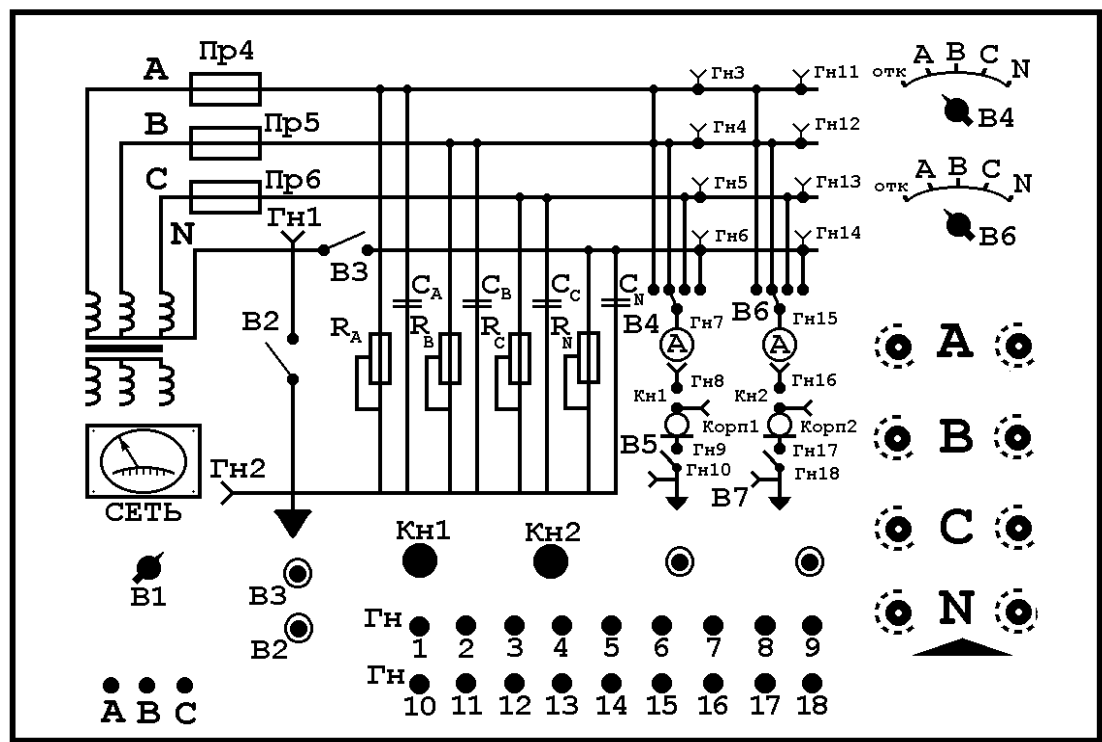


Рис. 10.12. Пульт управления стендом ОТ 10

Стенд позволяет моделировать две исследуемые трехфазные сети: трехпроводную с изолированной нейтралью и четырехпроводную с заземленной нейтралью. При этом существующие в реальных сетях распределенные сопротивления изоляции и емкости проводов по отношению к земле заменены в схеме стенда сосредоточенными сопротивлениями (R_A, R_B, R_C, R_N) и емкостями (C_A, C_B, C_C, C_N). Сопротивления и емкости проводов можно изменять с помощью регулируемых резисторов и конденсаторов, что дает возможность имитировать на стенде каждую из исследуемых сетей с нужными параметрами.

2.2. Порядок выполнения работы

2.2.1. Исследование трехпроводной сети с изолированной нейтралью и определение эффективности защитного заземления

Перед началом исследований необходимо подготовить таблицу результатов измерений (табл. 10.3).

Таблица 10.3

Результаты измерений

Режимы работы		Схема исследуемой сети	
		трехпроводная с изолированной нейтралью	четырёхпроводная с заземленной нейтралью
1	2	3	4
Нормальный режим работы оборудования	Напряжение фаз относительно земли	$U_A =$ $U_B =$ $U_C =$	$U_A =$ $U_B =$ $U_C =$ $U_N =$
	Напряжение на корпусе относительно земли, В	$U_k =$	$U_k =$
Нормальный режим работы оборудования	Величина тока, проходящего через человека при прикосновении к корпусу, А	$I_{чел} =$	$I_{чел} =$
Аварийный режим (одна из фаз замыкает на корпус)	Напряжение на корпусе относительно земли, В	$U_k =$	$U_k =$
	Величина тока, проходящего через человека при прикосновении к корпусу, А	$I_{чел} =$	$I_{чел} =$
	Напряжение на корпусе относительно земли при уменьшении сопротивления изоляции одной из оставшихся фаз, В	$U_k =$	$U_k =$

1	2	3	4
	Величина тока, проходящего через человека при прикосновении к корпусу в этом случае, А	$I_{\text{чел}} =$	$I_{\text{чел}} =$
	Напряжение на корпусе относительно земли при увеличении емкости электрической сети, В	$U_{\text{к}} =$	$U_{\text{к}} =$
	Величина тока, проходящего через человека в этом случае, А	$I_{\text{чел}} =$	$I_{\text{чел}} =$
Аварийный режим (одна из фаз замыкает на корпус и произошёл пробой второй фазы на землю)	Напряжение на корпусе относительно земли, В	$U_{\text{к}} =$	В этом случае произойдет короткое замыкание между нулевым проводом и фазой, пробившей на землю
	Величина тока, проходящего через человека в этом случае, А	$I_{\text{чел}} =$	
	Напряжение на корпусе относительно земли при уменьшении сопротивления изоляции оставшейся фазы, В	$U_{\text{к}} =$	
	Величина тока, проходящего через человека в этом случае, А	$I_{\text{чел}} =$	
	Напряжение на корпусе относительно земли при увеличении емкости электрической сети, В	$U_{\text{к}} =$	
	Величина тока, проходящего через человека в этом случае, А	$I_{\text{чел}} =$	
Аварийный режим (одна из фаз замыкает на корпус), корпус оборудования заземлен	Напряжение на корпусе относительно земли, В	$U_{\text{к}} =$	$U_{\text{к}} =$
	Величина тока, проходящего через человека, А	$I_{\text{чел}} =$	$I_{\text{чел}} =$
Аварийный режим (одна из фаз замыкает на корпус), корпус оборудования заземлен	Фаза, замыкание которой произошло на корпус (А, В или С)	—	
	Фаза, в цепи которой сработала защита (А, В или С)	—	
	Время срабатывания, с	—	

1. Все переключатели стенда («В1», «В2», «В3», «В4», «В5», «В6», «В7») установить в положение «Откл.» (вниз).

Переменные резисторы R_{ϕ} , имитирующие сопротивление фаз относительно земли, установить в крайнее правое положение до упора поворотом по часовой стрелке, что соответствует максимальной изоляции фаз от земли и друг от друга. Резисторы, имитирующие емкость фаз C_{ϕ} , повернуть влево до упора, что соответствует минимальной емкости цепи (цепи небольшой протяженности, минимум ответвлений). Этим самым моделируется трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью.

2. Подать в сеть напряжение. Для этого повернуть переключатель «В1». Подачу напряжения контролировать по сигнальным лампам, включенным в соответствующие фазы (А, В, С).

3. Определить напряжение фаз относительно земли. Для этого гнездо вольтметра «11» соединить с землей (гнездо «2»), а гнездо вольтметра «12» поочередно с фазами (гнезда «3», «4», «5»). Записать показания вольтметра, как и последующие показания, в табл. 10.3.

4. Определить напряжение на корпусе оборудования относительно земли при нормальном режиме работы. Для этого гнездо вольтметра «11» соединить с землей (гнездо «2»), а гнездо вольтметра «12» с гнездом «9».

Ток, протекающий через человека при прикосновении к корпусу оборудования, определяется по формуле

$$I_{\text{чел}} = \frac{U}{R_{\text{чел}}}. \quad (10.9)$$

Расчетное сопротивление тела человека принять в 1000 Ом. Величина тока, смертельная для человека, 0,1 А.

5. Измерить напряжение на корпусе оборудования относительно земли при замыкании одной из фаз на корпус. Для этого, не меняя предыдущих соединений, гнездо «7» соединить с гнездом «8». Переключатель «В4» поставить в положение «А». Нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус оборудования. Одновременно записать показания вольтметра.

6. Выяснить влияние сопротивления изоляции фаз на величину напряжения на корпусе. Для этого, не меняя предыдущих соединений, нажатием кнопки «Кн1» замкнуть фазу А на корпус оборудования. Одновременно, вращая против часовой стрелки резистор R_{ϕ} , имитирующий сопротивление фазы В, проследить за изменением напряже-

ния на корпусе оборудования. Записать максимальное напряжение. Вернуть резистор фазы В в крайнее правое положение.

7. Выяснить влияние емкости фаз на величину напряжения на корпусе при пробое одной из фаз на корпус. Для этого, не меняя предыдущих соединений, нажать кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус оборудования. Одновременно, вращая по часовой стрелке резистор, имитирующий емкость C_{ϕ} фазы В, проследить за изменением напряжения на корпусе оборудования. Записать максимальное напряжение. Вернуть резистор, имитирующий емкость фазы В, в крайнее левое положение.

8. Определить напряжение на корпусе оборудования относительно земли, если уже имеет место замыкание одной из фаз на землю и произошел пробой второй фазы на корпус оборудования. Для этого, не меняя предыдущих соединений, гнездо «15» соединить с гнездом «18». Переключатель «В6» поставить в положение «С» (т. е. произвести замыкание фазы С на землю). Нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус оборудования. Записать напряжение на корпусе оборудования относительно земли.

9. Выяснить влияние сопротивления изоляции фаз на величину напряжения на корпусе оборудования относительно земли, если уже имеет место замыкание одной из фаз на землю и произошел пробой второй фазы на корпус. Измерения проводить аналогично п. 6.

10. Выяснить влияние емкости фаз на величину напряжения на корпусе оборудования относительно земли, если уже имеет место замыкание одной фазы на землю и произошел пробой второй фазы на корпус. Измерения проводить аналогично п. 7.

11. Разъединить гнезда «15» и «18». Переключатель «В6» поставить в положение «Откл.».

12. Заземлить корпус оборудования. Для этого включить переключатель «В5» (вверх).

13. Определить напряжение на корпусе заземленного оборудования относительно земли при замыкании одной из фаз на корпус. Для этого, нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус. Записать показания вольтметра.

14. Обесточить сеть переключателем «В1». Переключатели «В4» и «В5» поставить в положение «Откл.» (вниз). Отсоединить провода.

2.2.2. Исследование четырехпроводной сети с заземленной нейтралью и определение эффективности защитного заземления и зануления

1. Смоделировать на стенде четырехпроводную сеть с заземленной нейтралью. Для этого необходимо включить переключатели «В2» и «В3» (вверх).

2. Подать в сеть напряжение. Для этого повернуть переключатель «В1». Подачу напряжения контролировать по сигнальным лампам, включенным в соответствующие фазы (А, В, С).

3. Для определения напряжения фазных и нулевого проводов относительно земли гнездо вольтметра «11» соединить с землей (гнездо «2»), а гнездо вольтметра «12» – поочередно с фазами и нулевым проводом (гнезда «3», «4», «5», «6»).

4. Определить напряжение на корпусе оборудования относительно земли при нормальном режиме работы. Для этого гнездо вольтметра «11» соединить с землей (гнездо «2»), а гнездо вольтметра «12» с гнездом «9».

5. Измерить напряжение на корпусе оборудования относительно земли при замыкании одной из фаз на корпус. Для этого, не меняя предыдущих соединений, гнездо «7» соединить с гнездом «8». Переключатель «В4» поставить в положение «А». Нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус оборудования. Одновременно снять показания вольтметра.

6. Выяснить влияние сопротивления изоляции фаз на величину напряжения на корпусе оборудования при пробое одной из фаз на корпус. Для этого, не меняя предыдущих соединений, нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус оборудования. При этом, вращая против часовой стрелки резистор R_{ϕ} , имитирующий сопротивление фазы В, проследить за изменением напряжения на корпус оборудования. Записать максимальное напряжение. Вернуть резистор фазы В в крайнее правое положение.

7. Выяснить влияние емкости фаз на величину напряжения на корпусе оборудования при пробое одной из фаз на корпус. Для этого, не меняя предыдущих соединений, нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу на корпус оборудования. Одновременно, вращая по часовой стрелке резистор, имитирующий емкость C_{ϕ} фазы В, проследить за изменением напряжения на корпусе оборудования. Записать максимальное напряжение. Вернуть резистор, имитирующий емкость фазы В, в крайнее левое положение.

8. Заземлить корпус оборудования. Для этого включить переключатель «В5» (вверх).

9. Определить напряжение на корпусе заземленного оборудования относительно земли при замыкании одной из фаз на корпус. Для этого, не меняя предыдущих соединений, нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус. Записать показания вольтметра.

10. Отсоединить корпус оборудования от заземляющего устройства. Для этого выключить переключатель «В5» (вниз).

11. Занулить корпус оборудования. Для этого отключить вольтметр, разъединив гнезда «9» и «12», «2 и 11». Соединить гнезда «6» и «9».

12. Замкнуть одну из фаз на зануленный корпус оборудования, нажав кнопку «Кн1», и одновременно по секундомеру определить время срабатывания защиты (отключится предохранитель сверху стенда). Фазу, в цепи которой сработала защита, контролировать по сигнальной лампочке. По табл. 10.2 сравнить время срабатывания защиты с допустимым значением.

На основании полученных в эксперименте данных необходимо сделать расширенные выводы об опасности поражения человека электрическим током в зависимости от конструкции сети, режима нейтрали и различных аварийных ситуаций. Пример вывода представлен ниже.

Выводы об опасности поражения человека электрическим током

При работе электрооборудования в нормальном режиме прикосновение к корпусу _____ для человека.
(опасно, не опасно)

При аварийном режиме, когда одна из фаз замкнута на корпус, прикосновение к оборудованию _____ для жизни человека.
(опасно, не опасно)

С уменьшением сопротивления изоляции фаз относительно земли опасность поражения электрическим током _____.
(увеличивается, уменьшается)

С увеличением емкости электрической сети (разветвленная сеть) опасность поражения _____.
(увеличивается, уменьшается)

В случае замыкания одной из фаз на корпус и пробое другой фазы на землю опасность поражения _____.
(увеличивается, уменьшается)

Уменьшение сопротивления изоляции фаз относительно земли и увеличение емкости сети _____ в этом случае к
(приводит, не приводит)

увеличению опасности поражения электрическим током.

При заземлении корпуса электрического оборудования опасность поражения электрическим током в трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью _____.

(остается, устраняется)

При заземлении корпуса электрического оборудования опасность поражения электрическим током в трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью _____.

(остается, устраняется)

При занулении корпуса электрического оборудования опасность поражения током в трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью _____, так как время срабаты-

(остается, устраняется)

вания защиты ____ с _____ допустимое.

(превышает, не превышает)

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды воздействия оказывает электрический ток проходя через организм человека?

2. Назовите виды поражения электрическим током. Дайте их характеристику.

3. Какие факторы влияют на степень поражения человека электрическим током?

4. Дайте определения заземленной и изолированной нейтрали.

5. Какие системы используются в электрических сетях напряжением до 1 кВ?

6. В каких случаях возможно поражение электрическим током?

7. Какие схемы включения человека в электрическую сеть Вы знаете? Охарактеризуйте их последствия.

8. Какая из сетей менее опасна при однофазном включении в нее человека?

9. Дайте определение напряжения шага. В каком случае оно возникает?

10. В каких случаях применяется защитное заземление оборудования?

11. В каких сетях применяется зануление оборудования?

12. В чем заключается защитное действие зануления оборудования?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний: ТКП 339-2011. – Введ. 01.12.11. – Минск: Минэнерго, 2011. – 593 с.

2. Челноков, А. А. Охрана труда: учебник / А. А. Челноков, И. Н. Жмыхов, В. Н. Цап; под общ. ред. А. А. Челнокова. – Минск: Выш. шк., 2011. – 671 с.

3. Гармаза, А. К. Охрана труда: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по специальностям лесного профиля / А. К. Гармаза, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик. – Минск: БГТУ, 2010. – 366 с.

Лабораторная работа № 11

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ЗАРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Цель работы: исследовать процесс образования электрических зарядов при пневматическом транспортировании диэлектрических материалов; научиться оценивать опасность искровых разрядов с заряженных поверхностей материалов, оборудования.

Приборы и оборудование: лабораторная установка, измеритель электрических зарядов ПК2-3А.

1. Общие положения

Интенсификация технологических процессов, увеличение скоростей транспортировки и переработки твердых и жидких диэлектрических материалов приводят к появлению зарядов статического электричества на перерабатываемом материале и поверхностях оборудования.

В основе образования статического электричества лежат очень сложные процессы, зависящие от множества факторов. Наиболее распространена гипотеза **контактной электризации** веществ и материалов. Согласно этой гипотезе, электризация возникает при соприкосновении двух разнородных веществ в силу неуравновешенности атомных и молекулярных сил на поверхности соприкосновения. При этом происходит перераспределение электронов или ионов веществ с образованием **двойного электрического слоя** с противоположными знаками зарядов. Величина контактной разности потенциалов зависит от диэлектрических свойств соприкасающихся поверхностей, их состояния, величины давления, сжимающего поверхности, от влажности и температуры поверхности и окружающей среды.

При разделении поверхностей, между которыми возникла контактная разность потенциалов, каждая из них сохраняет свой заряд, а контактная разность потенциалов по мере уменьшения емкости между поверхностями может достичь десятков и сотен киловольт, и при достижении порогового значения, определяемого электрической прочностью газовой среды, возникает **искровой заряд** (рис. 11.1).

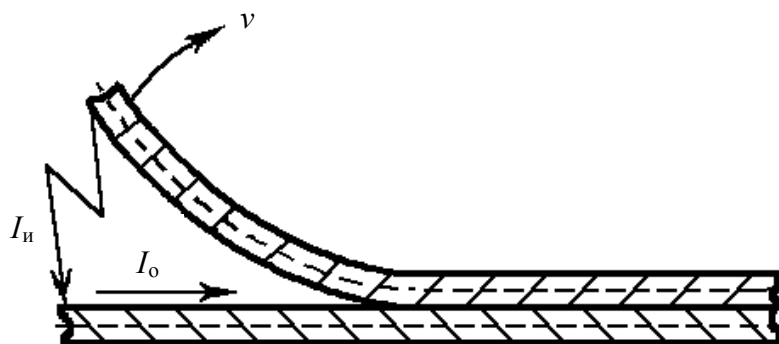


Рис.11.1. Схема электрических явлений при разделении поверхностей контакта твердых тел:

v – скорость разделения поверхностей; I_0 – ток, обусловленный омической проводимостью разделяющихся поверхностей; $I_и$ – ток ионизации в зазоре между разделяющимися поверхностями

Основными величинами, характеризующими способность различных веществ электризоваться, являются их **диэлектрическая проницаемость** ϵ и **удельное сопротивление** ρ . Материалы с одинаковым удельным электрическим сопротивлением, а также с $\rho < 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ практически не электризуются.

Величина заряда на поверхности материала зависит также от скорости разделения поверхностей, т. е. от интенсивности технологического процесса.

Основная опасность электризации в производственных процессах – возможность воспламенения горючей смеси искровыми разрядами. Однако разряд статического электричества, ощущаемого человеком как болезненный укол, может явиться косвенной причиной несчастного случая.

Воспламеняющая способность искровых разрядов зависит от их энергии W , Дж, которая при разряде с проводящей поверхности может быть рассчитана по формуле

$$W = 0,5 \cdot C \cdot U^2,$$

где C – электрическая емкость заряженной поверхности, Ф; U – потенциал заряженной поверхности, В.

Условием воспламенения взрывоопасной смеси искрой разряда статического электричества является превышение энергии, выделяемой при искровом разряде, над минимальной энергией, необходимой для воспламенения смеси.

Минимальная энергия воспламенения различных горючих смесей приведена в табл. 11.1 и 11.2.

Таблица 11.1

**Минимальная энергия, необходимая для воспламенения
паро- и газовоздушных смесей**

Вещества, входящие в состав смеси	Минимальная энергия воспламенения, мДж
Сероуглерод	0,009
Водород	0,019
Оксид этилена	0,06
Ацетилен	0,19
Бензол	0,2
Ацетон	0,6
Этиловый спирт	0,65
Бутан, этан	0,25
Пропан	0,26
Метан	0,28
Этиловый спирт	0,45
Сероводород	7,0
Оксид углерода	8,0

В производственных условиях часто встречаются случаи возникновения разрядов между заряженным диэлектриком и заземленным проводником. Энергия искрового разряда с заряженной диэлектрической поверхности значительно меньше энергии разряда с проводящей поверхности, так как разряжается не вся заряженная поверхность диэлектрика, а лишь небольшой участок малой емкости, для которого напряженность электрического поля достигла пробивного значения. Энергия разряда с диэлектрической поверхности может быть определена лишь экспериментально.

Таблица 11.2

**Минимальная энергия, необходимая для воспламенения
некоторых пылевоздушных смесей**

Вещества, входящие в состав смеси	Минимальная энергия воспламенения, мДж
Стеарат алюминия, ацетилцеллюлоза, сера, цирконий	5,0
Древесная мука	20,0
Магний	20,0
Резина	30,0
Уголь	40,0
Алюминий	50,0
Казеин	60,0
Полиэтилен	80,0
Полистирол	120,0

На воспламеняющую способность электрической искры влияет ряд факторов. Наиболее существенные из них – концентрация, температура и давление взрывоопасной смеси.

Предупреждение накопления зарядов статического электричества на проводящих объектах достигается заземлением оборудования. При этом сопротивление заземляющих устройств не должно превышать 100 Ом.

Для предотвращения накопления зарядов статического электричества на диэлектриках применяют индукционные, высоковольтные и радиоизотопные нейтрализаторы.

2. Экспериментальная часть

2.1. Описание лабораторной установки и измерительной техники

Лабораторная установка для исследования процесса образования и накопления зарядов статического электричества выполнена из органического стекла и работает по замкнутому циклу движения твердой фазы (рис. 11.2). В качестве транспортируемого материала используется гранулированный полипропилен или другой диэлектрический материал.

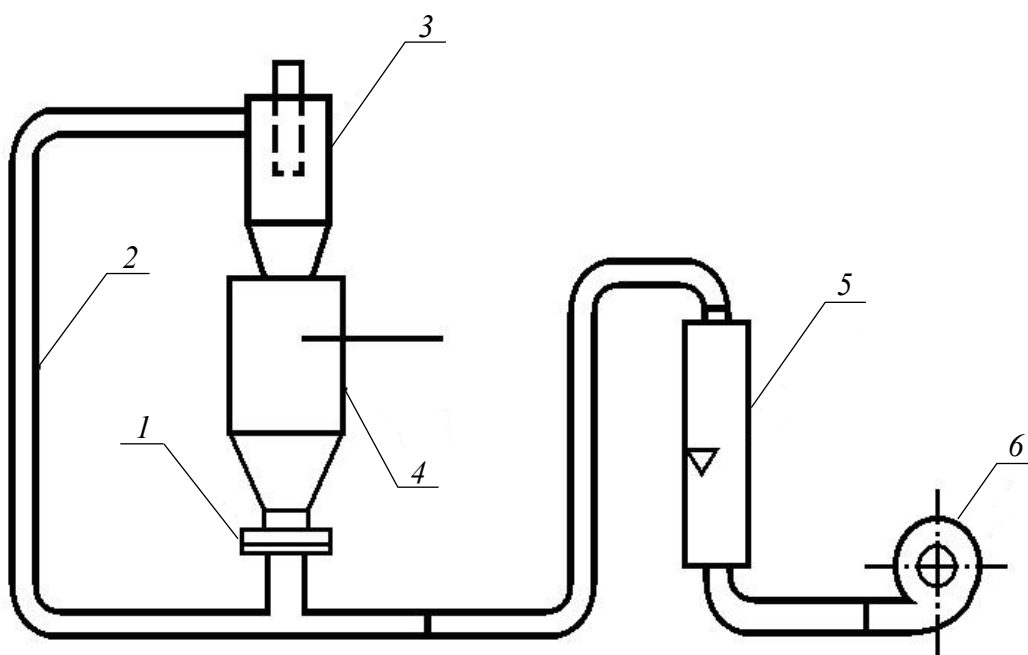


Рис. 11.2. Схема лабораторной установки:
1 – шибер; 2 – трубопровод; 3 – циклон; 4 – бункер;
5 – ротаметр; 6 – воздуходувка

Частицы транспортируемого материала захватываются потоком воздуха и по трубопроводу 2 подаются в циклон 3, где происходит отделение их от воздушного потока. Ударяясь о стенки трубопровода и циклона, частицы материала приобретают электрический заряд и, ссыпаясь в бункер 4, передают его металлической футеровке бункера.

Измеритель электрических зарядов ПК2-3А (рис. 11.3) предназначен для измерения потенциала поверхностной плотности и определения знака заряда.

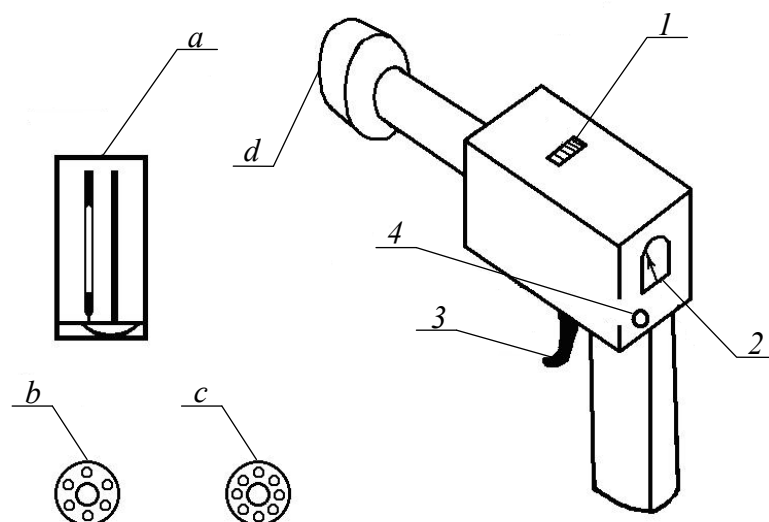


Рис. 11.3. Измеритель электрических зарядов ПК2-3А:
a – насадка № 1; *b* – насадка № 2; *c* – насадка № 3; *d* – насадка № 4;
1 – регулятор; 2 – стрелочный прибор; 3 – курок; 4 – кнопка

Пределы измерения потенциала – от 0 до 50 кВ с поддиапазонами 0–1,0 кВ, 10–50 кВ. Пределы измерения плотности заряда – от 0 до 20 мкКл/м. Прибор имеет две сменные насадки и два дополнительных диска с комбинированными отверстиями для расширения пределов измерения потенциала. Насадки и диски применяются в соответствии с табл. 11.3.

Таблица 11.3

Условия применения насадок

Обозначение и номер насадки	Пределы измерения потенциала, кВ	Пределы измерения плотности заряда
№ 1 × 0,1 (<i>a</i>)	0–1	–
№ 2 (диск) × 1 (<i>b</i>)	0–10	–
№ 3 (диск) × 5 (<i>c</i>)	0–50	–
№ 4 × 2 (<i>d</i>)	–	0–20 мкКл/м

При измерении поверхностной плотности заряда необходимо выполнить следующие действия.

1. На переднюю цилиндрическую часть прибора (рис. 11.3) надеть насадку d (№ 4), предназначенную для измерения плотности заряда.

2. Включить питание прибора нажатием курка 3. Нажать кнопку 4 и установить стрелку на нуль посредством регулятора 1. Отпустить кнопку. При этом стрелка прибора должна остаться в середине шкалы на нуле. Если в момент отпускания кнопки 1 стрелка отойдет от нуля, необходимо операцию установки нуля повторить.

3. Прибор с насадкой поднести к заряженной поверхности так, чтобы насадка касалась ее.

Для измерения потенциала заряженной поверхности необходимо на переднюю цилиндрическую часть прибора (рис. 11.3) надеть насадку a (№ 1). При этом шкала прибора соответствует 1 кВ, и поэтому показания прибора должны быть умножены на 0,1.

Установить нуль (аналогично п. 2).

Прибор с насадкой № 1 поднести к заряженной поверхности до соприкосновения с ней. Если стрелка прибора зашкаливает, необходимо расширить пределы измерения прибора. Для этого устанавливают диск b (№ 2) или c (№ 3) в насадку a (№ 1). При этом цифровые показания шкалы прибора умножаются на 1 с диском b и на 5 – с диском c .

Определение знака электростатических зарядов производится по отклонению стрелки прибора от середины шкалы (нуля): вправо «+», влево «-».

2.2. Порядок выполнения работы

2.2.1. Исследование процесса образования электростатических зарядов

1. Включить установку в электрическую сеть, подачу напряжения контролировать по индикаторной лампочке.

2. Установить скорость воздушного потока в трубопроводе, равную скорости витания транспортируемого материала (расход воздуха – около 500 л/мин – контролируется по показаниям ротаметра). Скорость воздушного потока регулируется изменением напряжения, подаваемого на электродвигатель воздуходувки.

3. Приоткрыть шибер трубопровода подачи материала из бункера установки.

4. Произвести измерение поверхностной плотности зарядов, потенциалов и знака заряда на поверхности бункера.

5. Увеличить скорость воздуха и количество транспортируемого материала, установив расход воздуха соответственно 600, 700 л/мин и приоткрыв шибер. Произвести аналогичные измерения. Результаты измерений занести в табл. 11.4.

Таблица 11.4

**Поверхностная плотность зарядов, потенциалов
и знак заряда на поверхности бункера**

Расход воздуха, л/мин	Знак заряда	Плотность зарядов, мкКл/м	Потенциал, кВ
500			
600			
700			

6. Построить графики зависимости поверхностной плотности заряда и величин потенциала от скорости воздуха и количества транспортируемого материала. Сделать соответствующие выводы.

7. Отключить установку.

2.2.2. Оценка опасности искровых разрядов с заряженных поверхностей материалов, оборудования

Приняв емкость разрядной цепи (бункер) $C_{\text{раз}} = 0,5 \cdot 10^{-12}$ Ф, рассчитать энергию разряда статического электричества $W_{\text{раз}}$ для каждого измеренного значения потенциала по формуле (с. 219).

Из табл. 11.1, 11.2 определить вещества, взрывоопасные смеси которых с воздухом могут воспламениться от данных разрядов статического электричества.

В отчете привести конкретные выводы об опасности статического электричества.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Единицы измерения поверхностной плотности заряда и энергии разряда статического электричества.

2. Причина образования статического электричества. По какой формуле можно определить энергию разряда статического электричества?

3. От чего зависит величина заряда на поверхности материала?

4. В чем заключается опасность разряда статического электричества? Основные пути его нейтрализации.
5. Какие материалы наиболее подвержены электризации?
6. Какие величины можно измерить с помощью прибора ПК2-3А?

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования: ГОСТ 12.1.018-93 ССБТ. – Введ. 01.01.96. – Минск: Госком. по стандартизации: БелГИСС, 1993. – 8 с.
2. Гармаза, А. К. Охрана труда: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по специальностям лесного профиля / А. К. Гармаза, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик. – Минск: БГТУ, 2010. – 366 с.

Лабораторная работа № 12

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Цель работы: ознакомиться с приборами и методикой измерения микроклимата производственных помещений; научиться определять оптимальные параметры воздушной среды и проводить сравнительный анализ полученных данных с нормативными требованиями.

Приборы и оборудование: термометры, анемометры, психрометры, кататермометр, гигрометр.

1. Общие положения

К метеорологическим факторам (микроклимату) относятся температура воздуха, его относительная влажность, скорость движения, а также тепловое излучение от нагретых поверхностей оборудования, обрабатываемых материалов, изделий.

Метеорологические факторы, как каждый в отдельности, так и в различных сочетаниях, оказывают существенное влияние на функциональную деятельность организма человека, его самочувствие и здоровье. Для производственных условий в большинстве случаев характерно суммарное воздействие метеорологических факторов, которые влияют на физиологическую функцию организма, его терморегуляцию. В результате обменных процессов в организме человека непрерывно выделяется тепло, количество которого зависит от характера выполняемой работы. В состоянии покоя из организма человека выделяется в сутки примерно 5800–7100 кДж, при легкой работе – 9600–11 700 кДж, при работе средней тяжести – 13 800–15 900 кДж, при тяжелой работе – свыше 15 900 кДж тепла. Температура человеческого тела должна оставаться постоянной (36–37°C), поэтому при изменении внешних условий в организме происходит процесс **терморегуляции** путем усиления или ослабления интенсивности окислительных процессов (химическая терморегуляция), а также путем отдачи тепла в окружающую среду излучением, конвекцией и испарением пота с поверхности кожи (физическая терморегуляция).

Под **конвекцией** понимается непосредственная отдача тепла с поверхности человеческого тела прилегающим к нему менее нагретым слоям воздуха. Интенсивность теплоотдачи конвекцией пропорциональна площади обтекаемой воздухом поверхности тела, разности температуры тела и окружающей среды, скорости движения воздуха. В состоянии покоя в комфортных метеорологических условиях она составляет 14–33% общей теплоотдачи (в среднем 23%).

Отдача тепла **излучением** происходит в направлении поверхностей с более низкой, чем у человеческого тела, температурой. Количество передаваемой этим путем тепловой энергии определяется законом, по которому удельная мощность излучения с повышением температуры излучающего тела увеличивается пропорционально 4-й степени его абсолютной температуры, причем теплоотдача излучением не зависит от скорости движения воздуха. Передача тепла инфракрасным излучением составляет в состоянии покоя в комфортных метеорологических условиях 44–59% общей теплоотдачи (в среднем 52%).

Большое место в теплообмене между работающими и окружающей средой занимает отдача тепла **испарением** влаги с поверхности тела человека. Она определяется величиной, которая носит название физиологического дефицита влажности.

Физиологический дефицит влажности – это разность между максимально возможной влажностью воздуха при температуре тела человека и абсолютной влажностью окружающего воздуха. Чем выше физиологический дефицит влажности (а фактически, чем ниже влажность окружающего воздуха), тем выше теплоотдача. На долю испарения в состоянии покоя в комфортных метеорологических условиях приходится 22–29% всей теплоотдачи человека (в среднем 25%).

В нормальных метеорологических условиях соблюдается тепловой баланс между приходом и расходом тепла. При неблагоприятном сочетании параметров метеорологических условий человеческий организм отвечает на всякое воздействие, нарушающее тепловой баланс, физиологическими приспособительными реакциями, направленными на компенсацию неблагоприятных внешних воздействий, т. е. включением механизма терморегуляции.

Терморегуляция организма является одним из наиболее важных физиологических механизмов, с помощью которых (до известных пределов) поддерживается относительное динамическое постоянство функций организма при различных метеорологических условиях и разной тяжести выполняемой работы.

Основной принцип нормирования метеорологических условий на производстве сводится к обеспечению таких значений параметров микроклимата, при которых поддерживалось бы устойчивое тепловое состояние организма в течение длительного времени без образования патологических изменений в нем.

Регламентируемые величины параметров производственного микроклимата установлены СанПиН 9-80 РБ 98 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». Указанные нормы включают оптимальные и допустимые величины температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне с учетом тяжести выполняемой человеком работы, избытков явного тепла в помещении и сезонов года.

Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, где выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.).

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, технически и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Согласно действующим санитарным нормам, параметры микроклимата должны устанавливаться с учетом категорий работ на основе интенсивности энерготрат организма:

• **категория I – легкие физические работы** – виды деятельности с энерготратами до 150 ккал/ч (174 Вт). К категории Ia относятся ра-

боты, выполняемые в основном сидя и сопровождаемые незначительным физическим напряжением (энерготраты до 120 ккал/ч, или до 139 Вт). К *категории Ib* – работы, выполняемые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождаемые некоторым физическим напряжением (энерготраты 121–150 ккал/ч, или 140–174 Вт);

• ***категория II – физические работы средней тяжести*** – это работы, охватывающие виды деятельности, при которых расход энергии составляет 151–250 ккал/ч (175–290 Вт). К *категории IIa* относятся работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (энерготраты 151–200 ккал/ч, или 175–232 Вт). К *категории IIб* относятся работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (энерготраты 201–250 ккал/ч, или 232–290 Вт);

• ***категория III – тяжелые физические работы*** – это работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (энерготраты более 250 ккал/ч, или более 290 Вт).

Характеристику производственных помещений по категории выполняемых работ в зависимости от затраты энергии устанавливают исходя из категории работ, выполняемых 50% и более работающих в соответствующем помещении.

СанПиН 9-80 РБ 98 учитываются сезоны года: *теплый* (среднесуточная температура наружного воздуха +10°C и выше) и *холодный* (среднесуточная температура наружного воздуха ниже +10°C).

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл. 12.1, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 12.2 применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

В производственных помещениях, в которых допустимые нормативные величины показателей микроклимата невозможно установить из-за технологических требований к производственному процессу или экономически обоснованной нецелесообразности, условия микроклимата следует рассматривать как вредные и опасные.

Таблица 12.1

**Оптимальные величины показателей микроклимата
на рабочих местах производственных помещений**

Период года	Категория работ по уровню энерготрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Легкая Ia	22–24	21–25	40–60	0,1
	Легкая Ib	21–23	20–24	40–60	0,1
	Средней тяжести IIa	19–21	18–22	40–60	0,2
	Средней тяжести IIб	17–19	16–20	40–60	0,2
	Тяжелая III	16–18	15–19	40–60	0,3
Теплый	Легкая Ia	23–25	22–26	40–60	0,1
	Легкая Ib	22–24	21–25	40–60	0,1
	Средней тяжести IIa	20–22	19–23	40–60	0,2
	Средней тяжести IIб	19–21	18–22	40–60	0,2
	Тяжелая III	18–20	17–21	40–60	0,3

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия (например, системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха и обогрева, регламентация времени работы, в частности перерывы в работе, сокращение рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска, уменьшение стажа работы и др.).

В настоящей работе определяются абсолютные показатели микроклимата в производственном помещении.

2. Экспериментальная часть

2.1. Приборы для определения метеорологических параметров и методы измерений

2.1.1. Измерение температуры воздуха

Наиболее распространенными приборами для измерения температуры воздуха являются обычные ртутные и спиртовые термометры.

Таблица 12.2

**Допустимые величины показателей микроклимата
на рабочих местах производственных помещений**

Период года	Категория работ по уровню энерготрат	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температуры воздуха ниже оптимальных величин	для диапазона температуры воздуха выше оптимальных величин
Холодный	Легкая Ia	20–21,9	24,1–25	19–26	15–75	0,1	0,1
	Легкая Ib	19–20,9	23,1–24	18–25	15–75	0,1	0,2
	Средней тяжести IIa	17–18,9	21,1–23	16–24	15–75	0,1	0,4
	Средней тяжести IIб	15–16,9	19,1–22	14–23	15–75	0,2	0,3
	Тяжелая III	13–15,9	18,1–21	12–22	15–75	0,2	0,4
Теплый	Легкая Ia	21–22,9	25,1–28	20–29	15–75*	0,1	0,2
	Легкая Ib	20–21,9	24,1–28	19–29	15–75*	0,1	0,3
	Средней тяжести IIa	18–19,9	22,1–27	17–28	15–75*	0,1	0,4
	Средней тяжести IIб	16–18,9	21,1–27	15–28	15–75*	0,2	0,5
	Тяжелая III	15–17,9	20,1–26	14–27	15–75*	0,2	0,5

* При температуре воздуха на рабочих местах 25°С и выше максимально допустимые величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы: 70% – при температуре воздуха 25°С; 65% – при температуре воздуха 26°С; 60% – при температуре воздуха 27°С; 55% – при температуре воздуха 28°С.

При измерении температуры выше 0°С следует пользоваться **ртутными** термометрами, так как ртуть при нагревании расширяется равномерно, а спирт неравномерно. Для измерения низких температур необходимо пользоваться **спиртовыми** термометрами, так как при температуре ниже –39°С ртуть замерзает.

При измерении температуры в каждой точке следует произвести два одинаковых отсчета через 5–7 мин. Термометр при этом необходимо держать за верхнюю часть на максимальном удалении от себя.

Для установления наибольшей или наименьшей температуры воздуха в тот или иной период времени пользуются **максимальными** или **минимальными** термометрами (соответственно ТМ-1 и ТМ-2).

Для регистрации температуры окружающего воздуха во времени используется самопишущий прибор – **термограф** (М-16с и М-16н). Продолжительность оборота одного барабана в М-16с равна 26 ч, а в приборе М-16н – 176 ч.

Для измерения истинной температуры воздуха в условиях теплового излучения пользуются **парным** термометром, состоящим из двух ртутных термометров. Поверхность резервуара с ртутью одного из них зачернена, а другого – покрыта слоем серебра.

Электрические термометры позволяют измерять температуру на расстоянии и обладают высокой чувствительностью. По принципу действия различают термометры сопротивления и термоэлектрические.

Устройство термометров **сопротивления** основано на использовании свойств металлов изменять свое электрическое сопротивление в зависимости от температуры.

Действие **термоэлектрических** термометров основано на существовании контактной разности потенциалов между двумя соприкасающимися разнородными металлами.

2.1.2. Измерение относительной влажности воздуха

В атмосферном воздухе всегда содержится некоторое количество влаги в виде водяного пара. На самочувствие людей оказывает влияние относительная влажность, которая является критерием при оценке состояния воздушной среды в производственном помещении.

Относительная влажность – это отношение абсолютной влажности к максимальной, выраженное в процентах.

Абсолютная влажность – упругость водяных паров в миллиметрах ртутного столба или масса водяных паров в граммах, приходящаяся на 1 м³ воздуха.

Максимальная влажность – упругость или масса водяных паров, которые могут насытить 1 м^3 воздуха при данной температуре.

Для измерения влажности воздуха чаще всего используют психрометры.

Стационарный психрометр Августа состоит из двух одинаковых ртутных термометров: сухого и влажного. Резервуар *влажного термометра* покрыт батистом или другим достаточно гигроскопичным материалом, конец которого в виде неплотного жгута опущен в наполненный дистиллированной водой стаканчик. По этому жгуту к резервуару термометра поступает влага взамен испаряющейся. Резервуар термометра не должен непосредственно контактировать с водой, поэтому стаканчик следует помещать в стороне от резервуара и ниже его на 3–4 см. У резервуара необходимо обеспечить свободный воздухообмен.

Сухой термометр показывает фактическую температуру окружающего воздуха, влажный – более низкую температуру, вследствие испарения воды с поверхности резервуара.

Аспирационный психрометр состоит из двух ртутных термометров, укрепленных в металлической оправе и заключенных в защитные металлические трубки, сообщающиеся общим воздухопроводом с вентилятором, который находится в головке прибора. Через трубку с равномерной скоростью под действием вентилятора просасывается исследуемый воздух, благодаря чему обеспечивается постоянство психрометрического коэффициента, а также устраняется влияние теплового облучения.

Перед подвеской психрометра в зоне измерения приводят в движение его вентилятор (в психрометре МВ-4М с помощью заводного механизма, а в психрометре М-34 с помощью электромотора).

Через 3–5 мин после запуска вентилятора, не выключая его, снимают показания прибора. Относительную влажность воздуха можно определить расчетным путем или с помощью специальных таблиц. Для прямого определения относительной влажности применяют гигрометры и гигрографы.

Гигрометр (рис. 12.1) представляет собой раму, на которой вертикально натянут специально обработанный обезжиренный волос человека, укрепленный одним концом на металлической рамке, другим – на оси стрелки. При измерении длины волоса под влиянием изменения относительной влажности воздуха стрелка гигрометра перемещается вдоль шкалы и указывает процент относительной влажности воздуха.

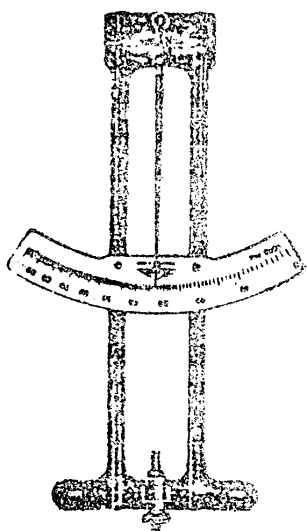


Рис. 12.1. Гигрометр

Гигрометр является единственным прибором для определения влажности воздуха при отрицательных температурах. Точность показаний его очень мала, ошибки измерений могут доходить до 5–10%.

Снимать и переносить гигрометр следует очень осторожно, чтобы не оборвать волос, не задеть чем-либо за стрелку и не сместить ее вправо, что влечет за собой обрыв или растягивание волоса.

Гигрограф – самопишущий прибор для регистрации во времени относительной влажности воздуха. Приемной частью гигрографа служит пучок волос, укрепленный на раме прибора. Изменение

длины пучка волос под влиянием изменения относительной влажности воздуха приводит в движение стрелку с пером, заполненным чернилами. Перо пишет на специальной ленте, надетой на барабан, который приводится в движение часовым механизмом.

Перед началом определения влажности воздуха фиксируют диаграммную ленту на барабане, заводят часовой механизм и заполняют углубление пера специальными чернилами. Затем при помощи регулировочного винта устанавливают перо на соответствующее деление ленты, исходя из показаний психрометра. Предварительно на диаграммной ленте записывают номер или название помещения, дату и час начала работы прибора.

2.1.3. Измерение скорости движения воздуха

Для измерения скорости движения воздуха применяют анемометры крыльчатые и чашечные.

При замерах скоростей движения воздуха в диапазоне 0,5–10 м/с применяют **крыльчатые** анемометры (рис. 12.2). Приемная часть анемометра представляет собой легкую крыльчатку, посаженную на получервячную ось, внутри которой натянута стальная струна, служащая осью крыльчатки. Вращение крыльчатки посредством зубчатой передачи редуктора передается на стрелки прибора. Включение и выключение механизма производится арретиром. Порог чувствительности прибора 0,2 м/с.

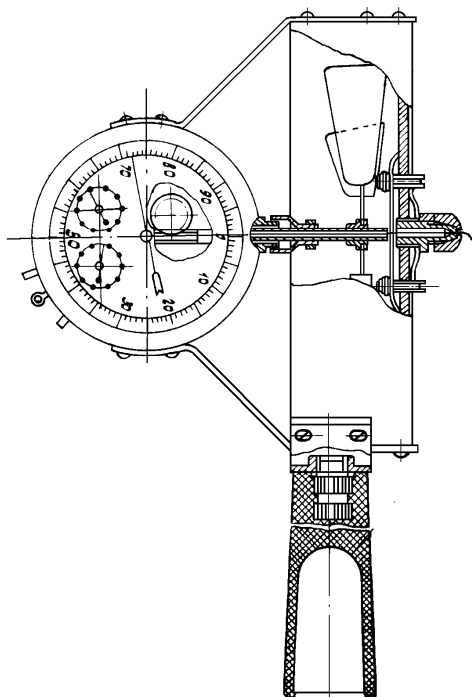


Рис. 12.2. Крыльчатый
анемометр

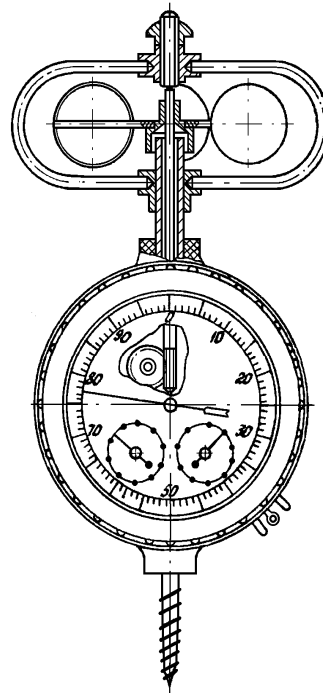


Рис. 12.3. Чашечный
анемометр

В **чашечном** анемометре (рис. 12.3) приемной частью служит крестовина с четырьмя полушариями, укрепленная на вертикальной оси и защищенная от механических повреждений проволокой. Под действием ветра полушария вращаются, что отмечается счетчиком, включаемым арретиром.

Чашечные анемометры применяют при замерах больших скоростей (до 15–18 м/с) и в условиях часто меняющихся направлений или турбулентных движений воздуха. Пределы измерения – 9–20 м/с, порог чувствительности – 0,8 м/с.

При проведении измерений записывают первоначальное показание стрелки по всем шкалам. Через некоторое время (10–20 с) после начала вращения крыльчатки с постоянной скоростью одновременно включаются счетчик прибора и секундомер. По секундомеру отмечается начало пуска и время измерения. Продолжительность каждого измерения для удобства расчетов устанавливается 100 или 150 с. После этого счетчик и секундомер выключают и записывают их конечные показания. Измерения повторяют 3–4 раза, так как точность измерения зависит от точности совпадения времени включения анемометра и секундомера.

Скорость воздушного потока в делениях шкалы анемометра $N_{\text{ан}}$, определенная по отношению разности между показаниями анемометра $(n_2 - n_1)$ и времени измерения t , находится по формуле

$$N_{\text{ан}} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}, \quad (12.1)$$

где $a_1, a_2, \dots, a_n = (n_2 - n_1), (n_4 - n_3), \dots, (n_n - n_{n-1})$ – разность между отсчетами; t_1, t_3, \dots, t_n – продолжительность отсчета, с.

Скорость движения воздуха (м/с) определяется по калибровочным графикам приборов.

Для замера малых скоростей движения воздуха может быть использован **кататермометр спиртовой** с цилиндрическим или шаровым резервуаром внизу, который переходит в капилляр с расширением его в верхней части (рис. 12.4). Шкала кататермометра градуирована от 35 до 38°C в цилиндрическом приборе и от 33 до 40°C в шаровом приборе; средняя точка шкалы 36,5°C.

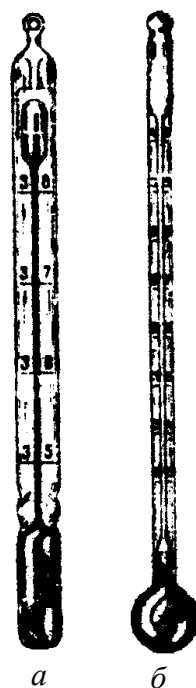


Рис. 12.4. Кататермометр:
а – цилиндрический; б – шаровой

Действие кататермометра основано на охлаждении его резервуара в зависимости от метеорологических условий среды, в частности от скорости движения воздуха. Количество тепла, теряемое с 1 см^2 по-

верхности резервуара, называется **фактором кататермометра** F и указывается на обратной стороне поверхности прибора.

Разделив F на время t , с, охлаждения кататермометра с 38 до 35°C, получим **охлаждающую силу воздуха** f , Дж/(см² · с):

$$f = \frac{F}{t}. \quad (12.2)$$

Порядок работы с кататермометром следующий. Прибор погружается в воду, нагретую до 60–70°C (но не более 80°C во избежание кипения спирта и разрыва резервуара), и держат его в воде до заполнения спиртом 1/5–1/3 объема верхнего расширения капилляра. Затем кататермометр вынимают из воды, тщательно вытирают и устанавливают в исследуемом месте на максимально возможном удалении от излучающих тепло поверхностей. Прибор охлаждается окружающим воздухом. По достижении столбиком спирта отметки 38°C включают секундомер и замеряют время охлаждения прибора (t , с) на 3° (до 35°C). Далее расчетным путем определяют охлаждающую силу воздуха по формуле (12.2).

Скорость движения воздуха определяют по эмпирическим формулам:

а) для скорости движения воздуха менее 1 м/с

$$v = \left[\frac{\left(\frac{f}{\Delta T} - 0,2 \right)}{0,4} \right]^2; \quad (12.3)$$

б) для скорости движения воздуха более 1 м/с

$$v = \left[\frac{\left(\frac{f}{\Delta T} - 0,13 \right)}{0,47} \right]^2, \quad (12.4)$$

где f – охлаждающая сила воздуха, Дж/(см² · с); ΔT – разность между средней температурой кататермометра (36,5°C) и температурой окружающего воздуха, °C.

Выбор формулы определяется величиной $\frac{f}{\Delta T}$; если она меньше 0,6, расчет ведется по формуле (12.3), если больше – по формуле (12.4).

2.1.4. Определение оптимальных параметров воздушной среды в производственных помещениях

Температура неподвижного воздуха при 100%-ной относительной влажности, которая создает такие же тепловые ощущения, как и любая комбинация метеорологических параметров, называется **эквивалентно-эффективной** ($T_{\text{экв}}$). Таким образом, эквивалентно-эффективная температура является приведенным показателем всех метеорологических параметров.

Для нахождения $T_{\text{экв}}$ по номограмме (рис. 12.5) необходимо соединить прямой точку левой шкалы, соответствующую температуре сухого термометра, с точкой правой шкалы, соответствующей температуре влажного термометра; точка пересечения этой прямой с кривыми скорости движения воздуха указывает на величину $T_{\text{экв}}$. Если данная температура лежит в пределах «зоны комфорта», это значит, что весь комплекс метеорологических факторов обеспечивает нормальный тепловой обмен. Если $T_{\text{экв}}$ выходит за пределы «зоны комфорта», то по номограмме легко найти пути приведения того или иного параметра к оптимальным условиям.

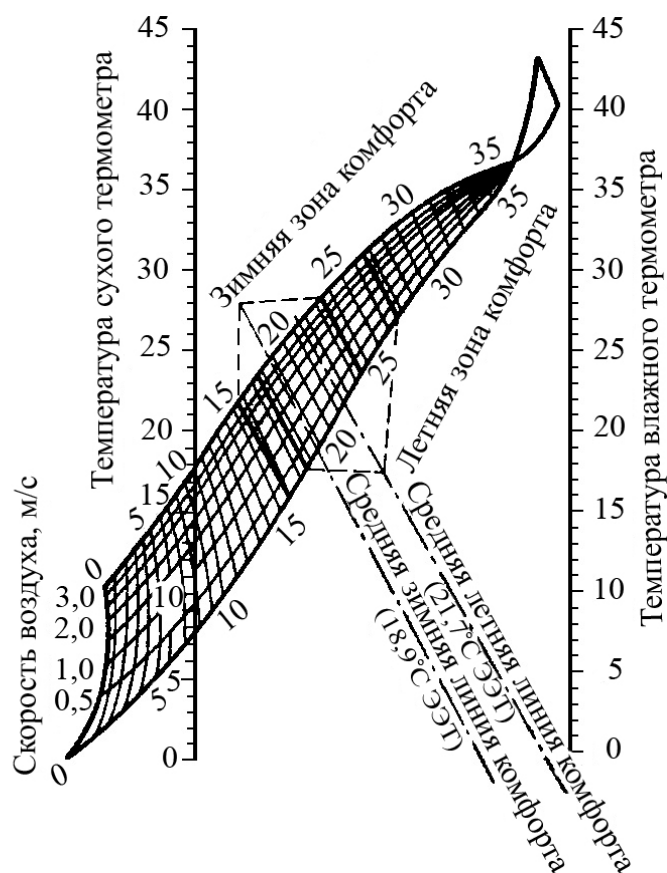


Рис. 12.5. Номограмма эквивалентно-эффективных температур

Для определения соответствия исследованных метеорологических параметров СанПиН 9-80 РБ 98 используются табл. 12.1 и 12.2.

Если исследованные метеорологические условия не удовлетворяют требованиям СанПиН 9-80 РБ 98, то в выводах по работе необходимо предусмотреть меры по доведению этих условий до допустимых уровней.

2.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип работы метеорологических приборов.
2. Включить водяную баню и, когда температура воды в ней достигнет 60–75°C, подготовить к опыту шаровой кататермометр.
3. Определить скорость движения воздуха в помещении на своем рабочем месте. Данные измерений свести в табл. 12.3.

Таблица 12.3

Значения скорости движения воздуха

Шаровой кататермометр		Время охлаждения t , с	Охлаждающая сила воздуха f , Дж/(см ² · с)	Разность температур $T_c - T_v$	Скорость движения воздуха v , м/с
Номер опыта	Фактор, F				
1					
2					
3					

4. Определить температуру воздуха на рабочем месте в начале и конце занятий, данные записать в табл. 12.4.

5. Подготовить к работе психрометры Ассмана и Августа и снять показания обоих термометров, данные записать в табл. 12.4.

6. Произвести расчет относительной влажности воздуха в лаборатории по данным обоих психрометров и сравнить с показаниями гигрометра.

7. Все полученные данные свести в табл. 12.4.

Таблица 12.4

Замеры параметров микроклимата в помещении

Наименование прибора	Показания термометров, °С		Относительная влажность, %		Температура воздуха, °С	
	сухого	влажного	по показаниям психрометра	по гигрометру	в конце работы	в начале работы
Психрометр Августа						
Аспирационный психрометр Ассмана						

8. Включить вентилятор и, когда установится воздушный поток, приступить к замеру его скорости. Замеры производить при стационарном положении вентилятора от анемометра. Полученные данные занести в табл. 12.5.

Таблица 12.5

Результаты замеров скорости воздушного потока

Тип анемометра	Отсчеты по шкале			Разность отсчетов	Время опыта	Средняя из 3-х опытов скорость (в делениях прибора за 1 с)	Скорость воздуха по графику, м/с
	№ п/п	до замера	после замера				

9. Из норм температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в производственных помещениях (табл. 12.1 и 12.2) выбрать оптимальные и допустимые параметры с учетом тепловых выделений в помещении, характера работы и времени года. Данные занести в табл. 12.6.

Таблица 12.6

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Данные	Метеорологические факторы		
	температура воздуха, °С	относительная влажность, %	скорость движения воздуха, м/с
Экспериментальные			
Оптимальные			
Допустимые			

10. Оценить с помощью номограммы эквивалентно-эффективных температур и по нормам СанПиН 9-80 РБ 98 метеорологические условия в помещении лаборатории, заполнить табл. 12.7 и сделать выводы о состоянии воздушной среды.

Таблица 12.7

Эквивалентно-эффективная температура воздушной среды

Место наблюдения	Показания термометров психрометра Августа, °С		Скорость движения воздуха по кататермометру, м/с	Эквивалентно-эффективная температура по номограмме
	сухого	влажного		

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается цель выполнения лабораторной работы?
2. Какие факторы определяют микроклимат и как они влияют на организм человека?
3. В каком количестве и при каких условиях работы организмом человека выделяется тепло?
4. Пути отдачи тепла организмом в окружающую среду и их процентное соотношение.
5. Что такое физиологический дефицит влажности?
6. Какие нормативные документы регламентируют оптимальные и допустимые параметры микроклимата, а также какие факторы влияют на их изменение?
7. Какие приборы используются для измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха?
8. Методика измерения параметров микроклимата.
9. Определение относительной и абсолютной влажности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: СанПиН № 9-80 РБ 98. – Введ. 01.07.98. – Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 1998. – 12 с.
2. Гармаза, А. К. Охрана труда: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по специальностям лесного профиля / А. К. Гармаза, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик. – Минск: БГТУ, 2010. – 366 с.

Лабораторная работа № 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТУШАЩЕГО ЗАЗОРА И КАТЕГОРИИ ВЗРЫВООПАСНОЙ СМЕСИ

Цель работы: рассчитать теоретически и ознакомиться с экспериментальным методом определения величины тушащего зазора, по которому научиться устанавливать категорию взрывоопасных смесей и осуществлять подбор взрывозащитного электрооборудования.

Приборы и оборудование: стенд ОТ 17.

1. Общие положения

Современные предприятия характеризуются использованием, переработкой и получением большого количества пожаро-взрывоопасных продуктов. Производственные процессы этих предприятий связаны с реальной опасностью образования взрывоопасной среды, которая может воспламениться от искр замыкания и размыкания электрических цепей и нагретых частей электрооборудования.

Взрывоопасной средой являются смеси веществ (газов, паров, пылей) с воздухом и другими окислителями (кислородом, озоном, хлором, окислами азота и др.), способные к взрывчатому превращению, а также индивидуальные вещества, склонные к взрывному разложению (ацетилен, озон, гидразин, аммиачная селитра и др.).

Основными параметрами, характеризующими взрывоопасность среды, являются: температура вспышки, концентрационные и температурные пределы воспламенения, температура самовоспламенения, нормальная скорость распространения пламени, минимальное взрывоопасное содержание кислорода (окислителя), минимальная энергия зажигания, чувствительность к механическому воздействию (удару и трению).

Температура вспышки – наименьшая температура конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания; устойчивое горение при этом не возникает.

В зависимости от численного значения температуры вспышки жидкости подразделяются на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) и горючие (ГЖ).

К *легковоспламеняющимся жидкостям* относятся жидкости с температурой вспышки не более 61°C в закрытом или 66°C в откры-

том тигле. Для ЛВЖ температура воспламенения обычно на 1–5°С выше температуры вспышки, а для горючих жидкостей эта разница может достигать 30–35°С. К ЛВЖ относятся, например, бензин, керосин, ацетон и др., к ГЖ – минеральные и растительные масла и др.

Температура самовоспламенения – это наименьшая температура вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, приводящее к возникновению горения с пламенем. Значение температуры самовоспламенения используется при определении группы взрывоопасной смеси для выбора типа взрывозащищенного электрооборудования, при разработке мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности технологических процессов.

По температуре самовоспламенения взрывоопасные смеси газов и паров подразделяют на шесть групп (табл. 13.1).

Таблица 13.1

Классификация взрывоопасных смесей по температуре самовоспламенения

Группы взрывоопасных смесей	Температура самовоспламенения, °С
T1	Свыше 450
T2	Свыше 300 до 450 включ.
T3	Свыше 200 до 300 включ.
T4	Свыше 135 до 200 включ.
T5	Свыше 100 до 135 включ.
T6	Свыше 85 до 100 включ.

Нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени (НКПРП и ВКПРП) – минимальное (максимальное) содержание горючего в смеси горючее вещество – окислительная среда, при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания. Внутри этих пределов смесь горючая, а вне их – смесь гореть неспособна.

Значения концентрационных пределов применяются при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, при расчете взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей внутри технологического оборудования и трубопроводов, при проектировании вентиляционных систем, а также при расчете предельно допустимых взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей в воздухе рабочей зоны с потенциальными источниками зажигания, при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта.

На рис. 13.1 представлена зависимость скорости процесса горения взрывоопасных смесей от концентрации газов и паров.



Рис. 13.1. Зависимость скорости процесса горения взрывоопасных смесей от концентрации газов и паров

Максимальная скорость процесса горения достигается при **стехиометрической концентрации**, т. е. при концентрации, состав которой точно соответствует количественному содержанию веществ, соединяемых друг с другом при реакции горения.

Интервал между нижним и верхним пределами называется **областью воспламенения**. Величины пределов воспламенения используют при расчете допустимых концентраций внутри технологических аппаратов, систем рекуперации, вентиляции, а также при определении предельно допустимой взрывоопасной концентрации (ПДВК) паров и газов при работе с использованием искрящего инструмента.

Для газов и паров жидкости НКПРП и ВКПРП определяются в объемных процентах, для пыли и волокон – в граммах на кубический метр.

Аэрозвеси в зависимости от НКПРП делятся на **особо взрывоопасные** с НКПРП $\leq 15 \text{ г/м}^3$, **взрывоопасные** с НКПРП $\leq 65 \text{ г/м}^3$ и **пожароопасные** с НКПРП $> 65 \text{ г/м}^3$.

Кроме объемных пределов воспламенения для паров ЛВЖ и ГЖ имеются температурные пределы распространения пламени.

Температурные пределы распространения пламени (НТПРП и ВТПРП) – такие температуры вещества, при которых его насыщенный пар образует в окислительной среде концентрации, равные соответственно НКПРП и ВКПРП.

Температурные пределы воспламенения учитывают при расчете безопасных температурных режимов закрытых технологических аппаратов с жидкостями и летучими твердыми веществами, работающих при атмосферном давлении. Безопасной для образования взрывоопасных паровоздушных смесей следует считать температуру вещества на 10°C ниже НТПРП или на 15°C выше ВТПРП.

Нормальная скорость распространения пламени – скорость перемещения фронта пламени относительно несгоревшего газа в направлении, перпендикулярном к его поверхности. Такое неосложненное горение называется *нормальным*, а скорость перемещения пламени по неподвижной смеси вдоль нормали к его поверхности – нормальной скоростью пламени V_n , см/с.

Значение нормальной скорости распространения пламени применяется в расчетах скорости нарастания давления взрыва газо- и паровоздушных смесей в закрытом, негерметичном оборудовании и помещениях; критического (гасящего) диаметра при разработке и создании огнепреградителей; площади легко сбрасываемых конструкций, предохранительных мембран и других разгерметизирующих устройств; при разработке мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности технологических процессов.

Минимальная энергия зажигания – наименьшая энергия электрического разряда, способная воспламенить наиболее легко воспламеняющуюся смесь горючего вещества с воздухом.

Значение минимальной энергии зажигания применяется при разработке мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасных условий переработки горючих веществ и электростатической искробезопасности технологических процессов.

Для ориентировочного расчета минимальной энергии зажигания паров и газов в воздухе E_{\min} , мДж, применяется формула

$$E_{\min} = 0,049 \cdot d_{\text{кр}}^{2,2}, \quad (13.1)$$

где $d_{\text{кр}}$ – критический зазор, величину которого можно получить расчетным путем или на основе справочных данных, мм.

Критическим зазором (диаметром) называется максимальный диаметр трубки, через который невозможно распространение пламени горючей смеси.

С критическим диаметром (зазором) связано также определение **категории взрывоопасной смеси**, которая характеризует способность газопаровоздушной смеси передавать взрыв через узкие щели и фланцевые зазоры.

В соответствии с ГОСТ 30852.11-2002 «Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 12. Классификация смесей газов и паров с воздухом по безопасным экспериментальным максимальным зазорам и минимальным воспламеняющим токам» взрывоопасные смеси газов и паров подразделяются на категории взрывоопасности в зависимости

от величины **безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ)** и значения соотношения между минимальным током воспламенения испытуемого газа или пара к **минимальному току воспламенения метана (МТВ)**.

БЭМЗ – это экспериментальный максимальный зазор, через который не происходит передача взрыва из оболочки в окружающую среду при любой концентрации горючего в воздухе.

Если шарообразную оболочку (рис. 13.2), части которой соединены между собой плоскими поверхностями, заполнить газопаровоздушной смесью и поместить в пространство с этой же смесью, то при поджигании ее в оболочке пламя, проникая через зазор (щель) между прилегающими поверхностями длиной a , может воспламенить окружающую среду, т. е. передать взрыв наружу. При определенных значениях длины и ширины зазора b в нем происходит затухание пламени. Это обусловлено тем, что тепловыделение при горении взрывоопасной смеси, заключенной в объеме зазора, меньше теплоотдачи к стенкам зазора. В узких каналах вследствие потерь тепла на стенки происходит понижение температуры в зоне реакции, уменьшение скорости распространения пламени, и пламя гаснет. Зазор между плоскими поверхностями длиной 25 мм, при котором частота передачи взрывов из стандартной оболочки составляет 50%, принят за критический пламегасящий.

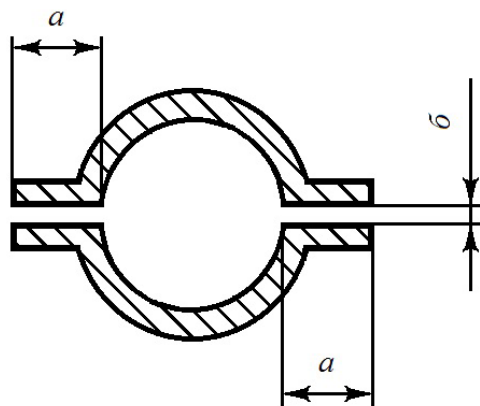


Рис. 13.2. Шарообразная оболочка для определения величины тушащего зазора:
 a и b – длина и ширина зазора

Взрывоопасные смеси подразделяются на категории:

I – метан на подземных горных работах;

II – газы и пары, за исключением метана на подземных горных работах.

В зависимости от значения БЭМЗ и МТВ газы и пары категории II подразделяются согласно табл. 13.2.

Таблица 13.2

**Категории взрывоопасности смесей
в зависимости от величины БЭМЗ и МТВ**

Категория взрывоопасности смесей	Величина БЭМЗ, мм	Величина МТВ
IIА	0,9 и более	Более 0,8
IIВ	Более 0,5, но менее 0,9	От 0,4 до 0,8 включ.
IIС	0,5 и менее	Менее 0,45

Для классификации большинства газов и паров достаточно использовать или БЭМЗ, или соотношение МТВ.

Одного критерия достаточно в следующих случаях:

- для категории IIА – БЭМЗ превышает 0,9 мм или соотношение МТВ превышает 0,9;
- для категории IIВ – БЭМЗ от 0,55 до 0,9 мм или соотношение МТВ от 0,5 до 0,8;
- для категории IIС – БЭМЗ меньше 0,5 мм или соотношение МТВ меньше 0,45.

Необходимо определять как БЭМЗ, так и соотношение МТВ, когда известны только:

- соотношения МТВ, и они находятся в диапазоне 0,8–0,9 или 0,45–0,5 (тогда требуется определение БЭМЗ);
- БЭМЗ, и его значение находится в диапазоне 0,5–0,55 мм (тогда требуется определение соотношения МТВ).

Распределение взрывоопасных смесей по категориям и группам приведено в табл. 13.3.

Таблица 13.3

Распределение некоторых взрывоопасных смесей по категориям и группам

Категория взрывоопасных смесей	Группы взрывоопасных смесей в зависимости от температуры самовоспламенения					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	2	3	4	5	6	7
I	Метан в подземных выработках	–	–	–	–	–

1	2	3	4	5	6	7
ПА	Аммиак, ацетон, бензол, винил хлористый, кислота уксусная, кислота, оксид углерода, пропан, растворители Р-4, Р-5, РС-1, толуол, этан и др.	Амилацетат, ангидрид уксусной кислоты, бензин Б 95/130, бутан, винилацетат, изоктан, изопентан, метиламин, растворители Р-40: № 646–649, РС-2, БЭФ, этиловый спирт и др.	Амиловый спирт, бензины: А-72, А-76, Б-70, гексан, гептан, камфен, керосин, нефть сырая, скипидар, триметиламин, уайт-спирит, циклогексан и др.	Альдегид изомаляный, альдегид масляный, альдегид уксусный, декан и др.	—	—
ПВ	Коксовый газ, синильная кислота	Камфорное масло, кислота акриловая, формальдегид, фурфурол, этилен и др.	Акролеин, изопренилацетилен, сероводород, формальгликоль и др.	Альдегид пропионовый, дибутиловый эфир, диэтиловый эфир и др.	—	—
ПС	Водород, водяной газ, светильный газ	Ацетилен	Метилдихлорсилан, Трихлорсилан	—	Сероуглерод	—

Движение пламени по газовой смеси называется распространением пламени. В зависимости *от скорости распространения пламени* горение может быть диффузионным (несколько метров в секунду), дефлаграционным или взрывным (несколько десятков и сотен метров в секунду) и детонационным (тысячи метров в секунду).

При горении химически неоднородных горючих систем, в которых горючее вещество и воздух не перемешаны и имеют поверхности раздела (например, твердые материалы и жидкости), время диффузии кислорода к горючему веществу намного больше времени, необходимого для протекания химической реакции. В этом случае процесс протекает в диффузионной области, т. е. горение будет **диффузионным**. Такой вид горения представляют собой все пожары.

Если время физической стадии перемешивания горючих веществ с окислителем намного меньше времени протекания самой химической реакции, то такой процесс горения называют **кинетическим**, и он может протекать в виде взрыва.

Для **дефлаграционного горения** характерна передача тепла от слоя к слою, а пламя, возникающее в нагретой и разбавленной активными радикалами и продуктами реакции смеси, перемещается в направлении исходной горючей смеси. Это объясняется тем, что пламя становится источником, который выделяет непрерывный поток тепла и химически активных частиц. В результате этого фронт пламени перемещается в сторону горючей смеси.

Когда скорость распространения пламени составляет десятки и сотни метров в секунду, но не превышает скорости распространения звука в данной среде (344 м/с в атмосфере при нормальных условиях), происходит взрывное горение или взрыв.

Согласно ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ «Взрывобезопасность. Общие требования», **взрыв** – быстрое экзотермическое химическое превращение взрывоопасной среды, сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных проводить работу.

Взрыв, как правило, приводит к возникновению интенсивного роста давления. В окружающей среде образуется и распространяется ударная волна.

Ударная волна имеет разрушительную способность, если избыточное давление в ней выше 15 кПа. Она распространяется в газе перед фронтом пламени со звуковой скоростью – 330 м/с. При взрыве исходная энергия превращается в энергию нагретых сжатых газов, которая переходит в энергию движения, сжатия и разогрева среды. Возможны различные виды исходной энергии взрыва – электрическая, тепловая, энергия упругого сжатия, атомная, химическая.

Основными факторами, характеризующими опасность взрыва, являются: максимальное давление и температура взрыва; скорость нарастания давления при взрыве; давление во фронте ударной волны; дробящие и фугасные свойства взрывоопасной среды.

Общее действие взрыва проявляется в разрушении оборудования или помещения, вызываемом ударной волной, а также в выделении вредных веществ (продуктов взрыва или содержащихся в оборудовании).

Максимальное давление взрыва (P_{\max}) – наибольшее давление, возникающее при дефлаграционном взрыве газо-, паро- или пылевоздушной смеси в замкнутом сосуда при начальном давлении смеси 101,3 кПа.

Скорость нарастания давления при взрыве (dP/dt) – производная давления взрыва по времени на восходящем участке зависимости давления взрыва газо-, паро-, пылевоздушной смеси в замкнутом сосуда от времени. При этом различают максимальную и среднюю ско-

рости нарастания давления при взрыве. При установлении максимальной скорости используют приращение давления на прямолинейном участке зависимости давления взрыва от времени, а при определении средней скорости – участок между максимальным давлением взрыва и начальным давлением в сосуде до взрыва.

Обе эти характеристики являются важными факторами для обеспечения взрывозащиты. Их используют при установлении категории помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, при расчетах предохранительных устройств, при разработке мероприятий по пожаро- и взрывобезопасности технологических процессов.

При взрывном горении продукты горения могут нагреваться до 1500–3000°C, а давление в закрытых системах достигать 0,6–0,9 МПа.

В определенных условиях взрывное горение может перейти в детонацию, когда скорость распространения пламени превышает скорость звука и может достигать 5000 м/с.

Детонация есть процесс химического превращения системы окислитель – восстановитель, представляющий собой совокупность ударной волны, распространяющейся с постоянной скоростью и превышающей скорость звука, и следующей за фронтом зоны химических превращений исходных веществ. Химическая энергия, выделяющаяся в детонационной волне, подпитывает ударную волну, не давая ей затухать.

На взрывоопасных и пожароопасных производствах электроустановки могут служить источниками воспламенения. Например, неправильная эксплуатация или неисправность электрооборудования может привести к его перегреву или появлению искр, которые могут вызвать пожар или взрыв.

В связи с этим Правила устройства электроустановок (ПУЭ) предусматривают *классификацию производственных помещений и наружных установок по взрывоопасным и пожароопасным зонам.*

При этом класс взрывоопасных и пожароопасных зон, в соответствии с которым производится выбор электрооборудования, определяют технологи совместно с электриками проектной или эксплуатирующей организации, исходя из характеристики взрывоопасности и пожароопасности окружающей среды.

Взрывоопасная зона – помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в котором имеются или могут образоваться взрывоопасные смеси.

Взрывоопасная смесь – смесь с воздухом горючих газов, паров ЛВЖ, горючих пыли или волокон с нижним концентрационным пре-

делом распространения пламени не более 65 г/м^3 при переходе их во взвешенное состояние, которая при определенной концентрации способна взорваться от возникшего источника инициирования взрыва.

ПУЭ устанавливают: если объем взрывоопасной смеси составляет более 5% свободного объема помещения, то все помещение относится к соответствующему классу взрывоопасности.

Если объем взрывоопасной смеси равен или менее 5% свободного объема помещения, то взрывоопасной считается зона в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, у которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ. Помещения за пределами взрывоопасной зоны считают невзрывоопасными, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасность.

Согласно ПУЭ, по содержанию горючих газов и паров легковоспламеняющихся жидкостей предусмотрено три класса взрывоопасных зон помещений (В-I, В-Ia, В-Iб); для наружных установок – один класс (В-Iг); по содержанию взрывоопасных пылей – два класса (В-II и В-IIa). Наиболее опасными являются зоны классов В-I и В-II.

Зоны класса В-I – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т. п.

Зоны класса В-Ia – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Зоны класса В-Iб – те же зоны, что и в классе В-Ia, но отличающиеся одной из следующих особенностей:

1) горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15% и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях (например, машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок);

2) помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения, имеют взрывоопасную зону только в своей верхней части. Взрывоопасная зона условно принимается от отметки 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня по-

ла, но не выше кранового пути, если таковой имеется (например, помещения электролиза воды, зарядные станции тяговых и статерных аккумуляторных батарей).

Пункт 2 не распространяется на электромашинные помещения с турбогенераторами с водородным охлаждением при условии обеспечения электромашинного помещения вытяжной вентиляцией с естественным побуждением; эти электромашинные помещения имеют нормальную среду.

К классу В-Іб относятся также зоны лабораторных и других помещений, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения, и в которых работа с горючими газами и ЛВЖ производится без применения открытого пламени. Эти зоны не относятся к взрывоопасным, если работа с горючими газами и ЛВЖ производится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами.

Зоны класса В-Іг – пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ (за исключением наружных аммиачных компрессорных установок), надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.

К зонам класса В-Іг также относятся: пространства у проемов за наружными ограждающими конструкциями помещений со взрывоопасными зонами классов В-І, В-Іа и В-ІІ (исключение – проемы окон, заполненные стеклоблоками); пространства у наружных ограждающих конструкций, если на них расположены устройства для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений со взрывоопасными зонами любого класса или если они находятся в пределах наружной взрывоопасной зоны; пространства у предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с горючими газами и ЛВЖ.

Зоны класса В-ІІ – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов).

Зоны класса В-Іа – зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, свойственные зонам класса В-ІІ, не имеют

места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Пожароопасной зоной называется пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) вещества и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

ПУЭ подразделяют пожароопасные зоны на следующие классы:

- **зоны класса П-I** – зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61°C;
- **зоны класса П-II** – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м³ к объему воздуха;
- **зоны класса П-IIa** – зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества;
- **зоны класса П-III** – расположенные вне помещения зоны, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61°C или твердые горючие вещества.

Во взрывоопасных зонах помещений разрешается устанавливать только взрывозащищенное электрооборудование. В пожароопасных зонах используется электрооборудование закрытого типа, внутренняя полость которого отделена от внешней среды оболочкой.

Взрывозащищенное электрооборудование – электротехническое изделие (электротехническое устройство, электрооборудование) специального назначения, которое выполнено таким образом, что устранена или затруднена возможность воспламенения окружающей его взрывоопасной среды вследствие эксплуатации этого изделия.

Согласно ГОСТ 30852.0-2002 «Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования», взрывозащищенное электрооборудование подразделяется *по уровням и видам взрывозащиты, группам и температурным классам*.

Установлены следующие уровни взрывозащиты электрооборудования: электрооборудование повышенной надежности против взрыва, взрывобезопасное электрооборудование и особовзрывобезопасное электрооборудование.

Уровень «Электрооборудование повышенной надежности против взрыва» – взрывозащищенное электрооборудование, в котором взрывозащита обеспечивается только в признанном нормальном режиме работы. Знак уровня – 2.

Уровень «Взрывобезопасное электрооборудование» – взрывозащищенное электрооборудование, в котором взрывозащита обеспечивается как при нормальном режиме работы, так и при вероятных повреждениях, определяемых условиями эксплуатации, кроме повреждений средств взрывозащиты. Знак уровня – 1.

Уровень «Особовзрывобезопасное электрооборудование» – взрывозащищенное электрооборудование, в котором по отношению к взрывобезопасному электрооборудованию приняты дополнительные средства взрывозащиты, предусмотренные стандартами на виды взрывозащиты. Знак уровня – 0.

Для обеспечения необходимого уровня взрывозащиты в оборудовании используют специальные **виды взрывозащиты**, под которыми понимают конструктивные средства и меры, обеспечивающие невозпламенение окружающей взрывоопасной среды от электрических искр, дуг, пламени, нагретых частей.

Виды взрывозащиты обозначаются латинскими буквами и обозначают следующее:

o – масляное заполнение оболочки; все нормально искрящиеся части погружены в минеральное масло либо любой жидкий негорючий диэлектрик, что исключает возможность соприкосновения между ними и взрывоопасными смесями;

p – заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением чистым воздухом или инертным газом;

q – кварцевое заполнение оболочки;

d – взрывонепроницаемая оболочка, которая выдерживает давление взрыва внутри ее и предотвращает распространение взрыва в окружающую взрывоопасную среду через зазоры или отверстия;

e – защита вида «е», заключается в том, что в электрооборудовании (или его части), не имеющем нормально искрящихся частей, принят ряд мер, дополнительно используемых в электрооборудовании общего назначения, затрудняющих появление опасных нагревов, искр, дуг;

i – искробезопасная электрическая цепь, в которой электрический разряд или нагрев цепи не могут воспламенить окружающую среду. Имеет следующие уровни:

ia – опасная ситуация не может возникнуть при нормальной эксплуатации при помехах на линии и при любых комбинациях двух возможных неисправностей;

ib – опасная ситуация не может возникнуть при нормальной эксплуатации при помехах на линии и одной неисправности. После главного вида защиты может указываться дополнительной;

ic – искробезопасные цепи этого уровня не должны вызывать воспламенение взрывоопасной смеси в стандартных условиях испытаний от теплового воздействия и от искрений с вероятностью большей 10^{-3} при нормальной работе и введении всех неучитываемых повреждений, создающих наиболее опасные условия;

m – герметизация компаундом. Компаунды – термоактивная, термопластическая полимерная смола (отверждаемая в естественных условиях) и эластомерные материалы с наполнителями и (или) добавками или без них после затвердевания;

n – защита вида «n», заключается в том, что при конструировании электрооборудования общего назначения приняты дополнительные меры защиты для того, чтобы в нормальном и некоторых ненормальных режимах работы оно не могло стать источником дуговых и искровых разрядов, а также нагретых поверхностей, способных вызвать воспламенение окружающей взрывоопасной смеси;

s – специальный вид взрывозащиты, который отличается от вышеприведенных. Например, токоведущие части залиты эпоксидными смолами и заключены в оболочку под давлением воздуха.

Виды взрывозащиты, обеспечивающие различные уровни взрывозащиты, различаются средствами и мерами обеспечения взрывобезопасности, оговоренными в стандартах на соответствующие виды взрывозащиты.

Взрывозащищенное электрооборудование в зависимости от области применения подразделяется на две группы (табл. 13.4).

Таблица 13.4

**Группы взрывозащищенного электрооборудования
по области его применения**

Электрооборудование	Знак группы
Рудничное, предназначенное для подземных выработок шахт и рудников	I
Для внутренней и наружной установки (кроме рудничного)	II

Электрооборудование группы II, имеющее виды взрывозащиты «Взрывонепроницаемая оболочка» и (или) «Искробезопасная электрическая цепь», подразделяется на три подгруппы, соответствующие категориям взрывоопасных смесей согласно табл. 13.5.

Таблица 13.5

**Подгруппы электрооборудования группы II с видами взрывозащиты
«Взрывонепроницаемая оболочка» и (или)
«Искробезопасная электрическая цепь»**

Знак подгруппы электрооборудования	Категория взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным
IIA	IIA
IIB	IIA и IIB
IIC	IIA, IIB и IIC

Электрооборудование группы II в зависимости от значения максимальной температуры поверхности подразделяется на шесть температурных классов, соответствующих группам взрывоопасных смесей (табл. 13.6).

Таблица 13.6

Температурные классы электрооборудования группы II

Знак температурного класса электрооборудования	Предельная температура, °C	Группа взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным
T1	450	T1
T2	300	T1, T2
T3	200	T1–T3
T4	135	T1–T4
T5	100	T1–T5
T6	85	T1–T6

В маркировку по взрывозащите электрооборудования группы II в указанной ниже последовательности входят:

- знак уровня взрывозащиты электрооборудования (2, 1 или 0);
- знак Ex, указывающий на соответствие электрооборудования стандартам на взрывозащищенное электрооборудование;
- знак вида взрывозащиты (o, p, q, d, e, ia, ib, ic, m, n или s);
- знак группы или подгруппы электрооборудования (II, IIA, IIB или IIC);
- знак максимальной температуры поверхности, или температурного класса электрооборудования (T1–T6), или же то и другое вместе (например, 350°C(T1)).

Маркировка взрывозащищенного электрооборудования должна выполняться в виде цельного рельефного знака в удобном месте обо-

лочки электрооборудования или на табличке, прикрепляемой к оборудованию. Например, 2ExeIIТЗ.

В маркировке по взрывозащите могут иметь место дополнительные знаки и надписи в соответствии со стандартами на электрооборудование с отдельными видами взрывозащиты.

Оборудование сохраняет взрывозащиту, если находится в среде со взрывоопасной смесью тех категорий и групп, для которых выполнена его взрывозащита, или в среде со взрывоопасной смесью менее опасной категории и группы. Если в среде присутствует несколько веществ, то выбор электрооборудования производится по наиболее опасному из них.

Согласно требованиям ГОСТ 30852.0-2002 «Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования», соответствующие уровни взрывозащиты могут обеспечиваться:

- для электрооборудования повышенной надежности против взрыва (уровень 2):

- взрывозащитой вида «i» с уровнем искробезопасной электрической цепи «ic» и выше;

- взрывозащитой вида «р», имеющей устройство сигнализации о недопустимом снижении давления;

- взрывозащитой вида «q»;

- защитой вида «е»;

- взрывозащитой вида «d»;

- масляным заполнением для электрооборудования групп II и заполнением негорючей жидкостью для электрооборудования групп I оболочек, удовлетворяющих требованиям взрывозащиты вида «о»;

- для взрывобезопасного электрооборудования (уровень 1):

- взрывозащитой вида «i»;

- взрывозащитой вида «р», с устройством сигнализации и автоматического отключения напряжения питания;

- взрывозащитой вида «d» для взрывобезопасного электрооборудования;

- специальным видом взрывозащиты «s»;

- защитой вида «е», заключенной во взрывонепроницаемую оболочку;

- заключением в оболочку, предусмотренную для защиты вида «р» с устройством сигнализации о снижении давления ниже допустимого значения электрооборудования группы II с защитой вида «е»;

- для особовзрывобезопасного электрооборудования (уровень 0):

- взрывозащитой вида «i»;

- специальным видом взрывозащиты «S»;
- взрывобезопасным электрооборудованием с дополнительными средствами взрывозащиты (например, заключением искроопасных частей, залитых компаундом или погруженных в жидкий или сыпучий диэлектрик, во взрывонепроницаемую оболочку, или продуванием взрывонепроницаемой оболочки чистым воздухом под избыточным давлением при наличии устройств контроля давления, сигнализации и автоматического отключения напряжения при недопустимом снижении давления или при повреждении взрывонепроницаемой оболочки).

В соответствии с ГОСТ 30852.13-2002 «Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 14. Электроустановки во взрывоопасных зонах (кроме подземных выработок)» при выборе электрооборудования для взрывоопасных зон необходимо:

- установить класс взрывоопасной зоны на основе анализа применяемых веществ и материалов, свойств окружающей среды;
- определить категорию и группу взрывоопасной смеси;
- подобрать требуемое исполнение электрооборудования;
- по справочнику найти конкретную марку электрооборудования.

Электрооборудование, особенно с частями, искрящими при нормальной работе, рекомендуется выносить за пределы взрывоопасных зон, если это не вызывает особых затруднений при эксплуатации и не сопряжено с неоправданными затратами. В случае установки электрооборудования в пределах взрывоопасной зоны оно должно удовлетворять требованиям по взрывозащите.

Применение во взрывоопасных зонах переносных электроприемников (машин, аппаратов, светильников и т. п.) следует ограничивать случаями, когда их применение необходимо для нормальной эксплуатации.

Взрывозащищенное электрооборудование, используемое в химически активных, влажных или пыльных средах, должно быть также защищено соответственно от воздействия химически активной среды, сырости и пыли.

Взрывозащищенное электрооборудование, используемое в наружных установках, должно быть пригодно также и для работы на открытом воздухе или иметь устройство для защиты от атмосферных воздействий (дождя, снега, солнечного излучения и т. п.).

Во взрывоопасных зонах классов В-II и В-IIa рекомендуется применять электрооборудование, предназначенное для взрывоопасных зон со смесями горючих пылей или волокон с воздухом.

При отсутствии такого электрооборудования допускается во взрывоопасных зонах класса В-II применять взрывозащищенное электро-

оборудование, предназначенное для работы в средах со взрывоопасными смесями газов и паров с воздухом, а в зонах класса В-IIa – электрооборудование общего назначения (без взрывозащиты), но имеющее соответствующую защиту оболочки от проникновения пыли.

Применение взрывозащищенного электрооборудования, предназначенного для работы в средах взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом, и электрооборудования общего назначения с соответствующей степенью защиты оболочки допускается при условии, если температура поверхности электрооборудования, на которую могут осесть горючие пыли или волокна (при работе электрооборудования с номинальной нагрузкой и без наслоения пыли), будет не менее чем на 50°C ниже температуры тления пыли для тлеющих пылей или не более двух третей температуры самовоспламенения для нетлеющих пылей.

Выбор электрооборудования для работы во взрывоопасных зонах производится по табл. 13.7, 13.8.

Таблица 13.7

Допустимый уровень взрывозащиты электрических машин (стационарных и передвижных) в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты
В-I	Взрывобезопасный
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Искрящие части машины (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку
В-II	Взрывобезопасный
В-IIa	Без средств взрывозащиты. Искрящие части машины (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку

При необходимости допускается обоснованная замена электрооборудования, указанного в таблицах, электрооборудованием с более высоким уровнем взрывозащиты и более высокой степенью защиты оболочки. Например, вместо электрооборудования уровня «Повышенная надежность против взрыва» может быть установлено электрооборудование уровня «Взрывобезопасное» или «Особовзрывобезопасное».

В зонах, взрывоопасность которых определяется горючими жидкостями, имеющими температуру вспышки выше 61°C, может применяться любое взрывозащитное электрооборудование для любых категорий и групп с температурой нагрева поверхности, не превышающей температуру самовоспламенения данного вещества.

**Допустимый уровень взрывозащиты стационарных электрических
светильников в зависимости от класса взрывоопасной зоны**

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты светильника
В-I	Взрывобезопасный с учетом категории и группы взрывоопасной смеси
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-Iб	Без средств взрывозащиты (степень защиты оболочки IP53)
В-II	Повышенной надежности против взрыва. Любой взрывозащищенный
В-IIa	Стационарный (степень защиты оболочки IP53); переносной (повышенной надежности против взрыва)

Для предупреждения взрыва необходимо исключать образование взрывоопасной среды и возникновение источника инициирования взрыва.

Предотвращение возникновения источника инициирования взрыва обеспечивается: регламентацией огневых работ, ограничением нагрева оборудования ниже температуры самовоспламенения взрывоопасной смеси; применением неискрящихся материалов, средств защиты от атмосферного и статического электричества, блуждающих токов и т. д.; применением быстродействующих средств защитного отключения возможных источников инициирования взрыва; ограничением мощности электромагнитных и других излучений; устранением опасных тепловых проявлений химических реакций и механических воздействий, применением взрывозащищенного электрооборудования.

2. Экспериментальная часть

2.1. Устройство стенда ОТ 17 для определения величины тушащего зазора

Стенд состоит из корпуса 6, толстостенного сосуда 2, рассчитанного на давление 10 МПа, системы зажигания горючей смеси, системы для продувания полостей сосудов, предохранительного щитка 5 (рис. 13.3).

Сосуд имеет две полости 2 и 7, каждая объемом 1 л. В перегородке 8, которая разделяет сосуд, установлена втулка 10 с коническим отверстием, имеющим длину 25 мм. В отверстии расположена коническая пробка 9 с резьбой на хвостовике 13. Хвостовик резьбой входит в гайку 14, которая снабжена диском 15 с нанесенными на его поверхность делениями 11. Выхлопной штуцер 1 имеет пластину 12 для закрепления разрывной мембраны 19. Под пластину 12 закладывают

листок плотного, но непрочного материала, например кальку, – разрывную мембрану.

Обе полости 2 и 7 посредством клапана 4 соединены трубопроводом 17 с вентилятором 16. Полость 2 имеет два выступа 3, полость 7 – один, назначение их – увеличить поверхность испарения залитой взрывоопасной жидкости.

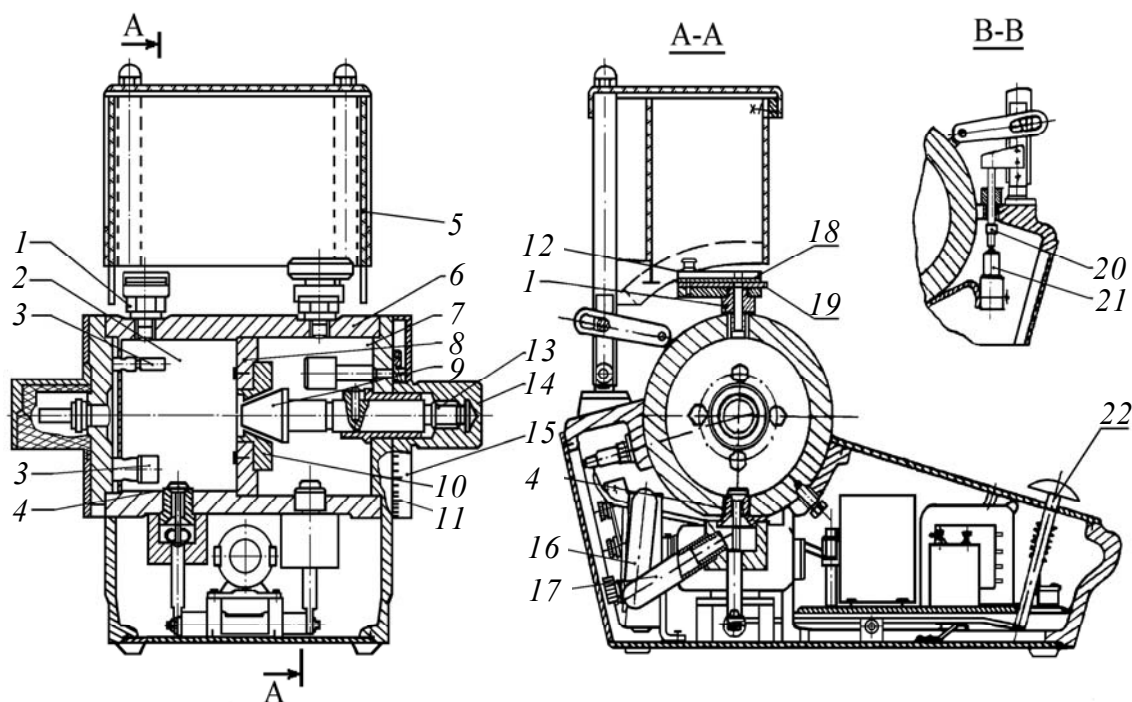


Рис. 13.3. Устройство стенда ОТ 17 для определения величины тушающего зазора:

- 1 – выхлопной штуцер; 2 – левая полость; 3 – выступ; 4 – клапан; 5 – щиток;
- 6 – корпус; 7 – правая полость; 8 – перегородка; 9 – коническая пробка;
- 10 – втулка; 11 – деления диска; 12 – пластина; 13 – хвостовик; 14 – гайка;
- 15 – диск; 16 – вентилятор; 17 – трубопровод; 18 – зажим; 19 – разрывная мембрана;
- 20 – стержень; 21 – конечный выключатель; 22 – кнопка

При заливке очередной порции взрывоопасной жидкости в камеры 2 и 7 необходимо приподнять щиток 5, при этом посредством стержня 20 и конечного выключателя 21 с целью безопасности обслуживания обесточивается система зажигания. Фрикционное торможение щитка в приподнятом положении обеспечивается фрикционными шайбами.

Открытие клапанов 4, продувание камер 2 и 7 производится вручную, нажатием на кнопку 22. При этом открываются клапаны в обе камеры и одновременно включается вентилятор 16 посредством микропереключателя.

2.2. Принцип работы стенда

Определенное количество легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) для создания стехиометрической концентрации, например, ацетона, закапывают через отверстие штуцеров *1* в полость сосуда.

При этом жидкость попадает на верхний и нижний выступы *3*, растекается по ним, в результате чего происходит интенсивное испарение. По истечении определенного периода времени, достаточного для испарения (2–5 мин), пары ацетона, смешиваясь с воздухом в полостях, заполняют весь объем стенда. Поворотом гайки *14* пробка *9* выводится на определенный размер, образуя концентрический зазор. Величину зазора определяют на диске *15* по делениям *11*. Установление зазора производится поворотом диска *15* только в одну сторону, при этом выбирается люфт в резьбе.

На панели *1* (рис. 13.4) расположены элементы управления.

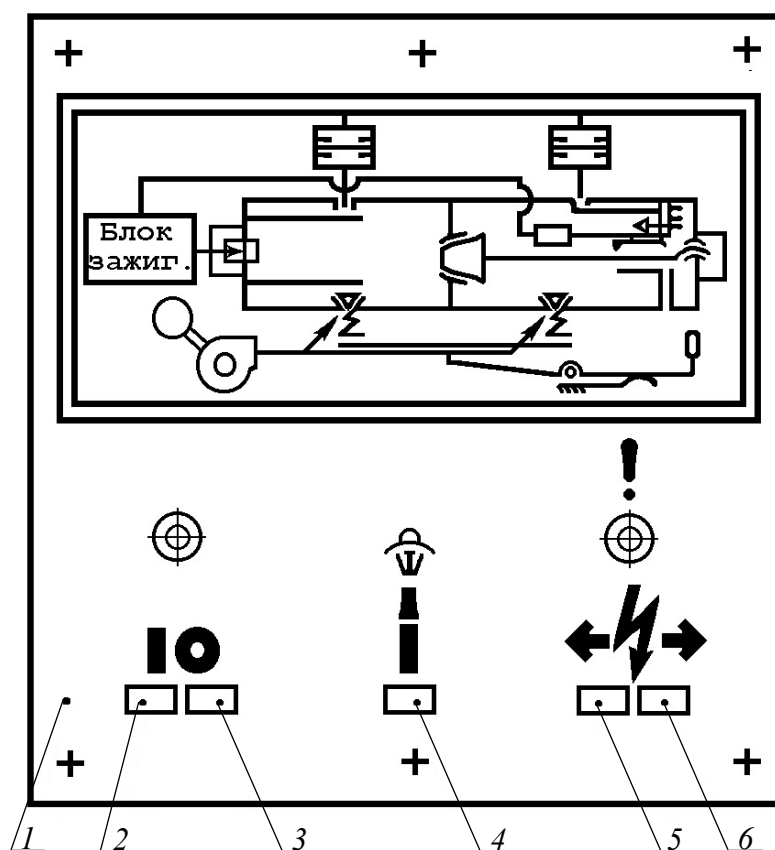


Рис. 13.4. Расположение элементов управления на панели стенда ОТ 17:

- 1* – панель стенда; *2* – кнопка включения питания;
- 3* – кнопка отключения питания; *4* – кнопка включения продувки камер;
- 5* – кнопка включения зажигания в камере I;
- 6* – кнопка включения питания в камере II

Включение питания осуществляется кнопкой 2, а отключение – кнопкой 3; включение зажигания в первой камере – кнопкой 5, а во второй – кнопкой 6. Продувка камер осуществляется нажатием кнопки 4. Продолжительность продувки равна длительности нажатия. При нажатии одной из кнопок (5 или 6) происходит воспламенение взрывоопасной смеси (взрыв) в соответствующей камере. Если кольцевой зазор превышает БЭМЗ, то происходит передача пламени в другую камеру и воспламенение в ней взрывоопасной смеси. При зазоре меньшем или равном БЭМЗ взрыв не передается. Контроль процесса воспламенения взрывоопасной смеси осуществляется по разрывной мембране.

2.3. Порядок проведения исследований

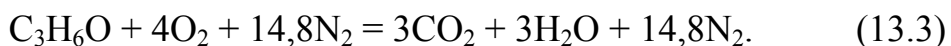
Для проведения исследования процесса тушения пламени в зазоре необходимо: подготовить к работе стенд, изучив его устройство, принцип действия и управления; составить по заданию преподавателя испытуемую смесь; рассчитать стехиометрическую концентрацию выбранной взрывоопасной смеси и величину тушащего зазора; изучить порядок выполнения исследования и строго его придерживаться при проведении опытов; после завершения опытов отключить установку и убрать рабочее место.

1. Рассчитать стехиометрическую концентрацию взрывоопасной смеси и величину тушащего зазора.

Стехиометрическая концентрация C_m , %, исследуемой взрывоопасной смеси определяется по формуле

$$C_m = \frac{100}{m_{\Gamma} + m_{O_2} + m_{N_2}}, \quad (13.2)$$

где m_{Γ} , m_{O_2} , m_{N_2} – стехиометрические коэффициенты соответственно горючего, кислорода, азота, находят из уравнения окисления (горения). Уравнение окисления, например для ацетона, имеет вид



Сумма по стехиометрическим коэффициентам равна

$$1 + 4 + 14,8 = 19,8.$$

Тогда стехиометрическая концентрация составит

$$\frac{100}{1 + 4 + 14,8} = \frac{100}{19,8} \approx 5\%.$$

Объем V , мл, горючей смеси, необходимой для получения стехиометрической смеси в сосуде-стенде, определяется из выражения

$$V = \frac{C_m \cdot M \cdot 10 \cdot V_{\text{п}}}{V_{\text{г-м}} \cdot \gamma_{\text{ж}}}, \quad (13.4)$$

где M – молекулярная масса (для ацетона $M = 58,08$); $V_{\text{п}}$ – объем полости, л (для ОТ 17 – 1 л); $V_{\text{г-м}}$ – объем грамм-молекулы, л (принять $V_{\text{г-м}} = 24,05$ л); $\gamma_{\text{ж}}$ – удельная плотность, г/л (для ацетона $\gamma_{\text{ж}} = 790,8$).

Расчетную величину тушащего зазора δ , мм, определяют по формуле

$$\delta = \frac{10^3 \cdot P_e \cdot \lambda_0}{v_{\text{н}} \cdot \lambda_{\text{уд}} \cdot \rho_0}, \quad (13.5)$$

где $P_e = 65$ – безразмерный критерий Пекле; λ_0 – теплоемкость исходной смеси, Дж/(м · ч · град) (для смеси ацетона с воздухом 20,7); $v_{\text{н}}$ – нормальная скорость распространения пламени, м/ч (4200); $\lambda_{\text{уд}}$ – удельная теплоемкость исходной смеси, Дж/(кг · град) (для смеси ацетона с воздухом – 0,25); ρ_0 – плотность исходной смеси, кг/м³ (для смеси ацетона с воздухом – 1360).

2. Откинуть прозрачный предохранительный щиток 5 стенда (рис. 13.3). Залить в камеры сгорания (2 и 7) через штуцеры 1 рассчитанное количество ЛВЖ. Установить над выходными отверстиями штуцеров 1 под пружинящими пластинами 12 листки плотной бумаги (разрывную мембрану). Поворотом гайки 14 в правую сторону установить лимбом против индекса расчетное значение зазора в коническом отверстии между двумя камерами сгорания (2 и 7). Возвратить в исходное положение предохранительный щиток 5 и выждать время (2–5 мин) для равномерного диффузного заполнения камер испарения ЛВЖ. Включить кнопкой 2 (рис. 13.4) общее питание электрической цепи стенда и произвести взрыв в камере сгорания стенда. Нажатием кнопки 5 (рис. 13.4) замыкается цепь зажигания в камере 2 (рис. 13.3). Взрыв в камерах определяется по звуковому эффекту (контрольная мембрана из бумаги разрывается).

3. При передаче взрыва в камеру 7 необходимо уменьшить величину установленного по расчету зазора и повторить опыт. После каждого взрыва произвести вентиляцию камер в течение 15–20 с нажатием кнопки 4. При отсутствии передачи взрыва во вторую камеру произвести в ней воспламенение испытуемой смеси (контрольный взрыв) нажатием кнопки 6. При наличии взрыва в камере 7 расчетный зазор (БЭМЗ) подтверждается экспериментально. Если при подаче напряжения на свечу

зажигания смесь во второй полости не воспламенится, опыт считается неудачным, и его результат не учитывается. Экспериментальные исследования проводятся до определения величины БЭМЗ.

Результаты расчетов и замеров заносят в табл. 13.9.

4. Отключить общее питание цепи зажигания стенда нажатием кнопки 3. Убрать рабочее место.

Таблица 13.9

**Результаты расчетного и экспериментального исследования
взрывоопасной смеси**

№ опыта	Расчетный объем стехиометрической смеси, мл	Расчетная величина тушащего зазора, мм	Число взрывов в полости камеры I	Число проскоков пламени из полости I в полость камеры II	Экспериментальная величина тушащего зазора, мм	Категория взрывоопасной смеси
1	2	3	4	5	6	7

Примечание. При разрыве мембраны в обеих камерах (полостях) в 4-й и 5-й графах таблицы ставится знак «+». Если же во второй полости мембрана не разрушилась, то в графе 5 ставится знак «-».

5. По величине безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ), через который не происходит передача взрыва во вторую камеру, устанавливают категорию и группу взрывоопасной смеси (табл. 13.2 и 13.3) и подбирают взрывозащищенное оборудование (записать пример маркировки).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие среды являются взрывоопасными и какими основными параметрами они характеризуются?
2. Дайте определение температуры вспышки и самовоспламенения, нижнего (верхнего) концентрационного предела распространения пламени, области воспламенения.
3. Какой состав газовой смеси называют стехиометрическим?
4. В каких единицах определяются НКПРП и ВКПРП в зависимости от вида аэросмесей?
5. Какие аэрозвеси твердого вещества по НКПРП относят к особо взрывоопасным, взрывоопасным и пожароопасным?
6. Дайте определение температурных пределов распространения пламени. Для каких смесей введена такая характеристика?
7. Какая температура вещества является безопасной при образовании взрывоопасных паровоздушных смесей?

8. Что такое нормальная скорость распространения пламени, минимальная энергия зажигания?
9. При каких условиях зазор между плоскими поверхностями оболочки принят критическим пламегасящим?
10. В зависимости от каких параметров устанавливаются группа и категория взрывоопасных смесей?
11. Какая величина БЭМЗ и МТВ соответствуют категориям ПА, ПВ, ПС?
12. Какая температура самовоспламенения взрывоопасных смесей соответствует группам Т1, Т2, Т3, Т4, Т5, Т6?
13. Охарактеризуйте основные факторы, характеризующие опасность взрыва.
14. Как классифицируются производственные помещения и наружные установки по взрывоопасным и пожароопасным зонам согласно ПУЭ?
15. Какое электрооборудование называется взрывозащищенным?
16. Как подразделяется взрывозащищенное электрооборудование согласно ГОСТ 30852.0-2002 «Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования»?
17. Как производится маркировка взрывозащищенного электрооборудования? Что означают ее элементы?
18. Как осуществляется выбор электрооборудования для взрывоопасных зон?

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. – Введ. 01.01.91. – М.: Гос. ком. по стандартам, 1991. – 156 с.
2. Взрывобезопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. – Введ. 01.01.78. – М.: Гос. ком. по стандартам, 1977. – 8 с.
3. Смесей взрывоопасные. Классификация и методы испытаний: ГОСТ 12.1.011-78. – Введ. 01.07.79. – М.: Гос. Ком. по стандартам, 1979. – 24 с.
4. Электрооборудование взрывозащищенное. Общие требования: ГОСТ 30852.0-2002. – Введ. 01.11.03. – Минск: Госком. по стандартизации: БелГИСС, 2003. – Ч. 0. – 56 с.
5. Гармаза, А. К. Охрана труда: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по специальностям лесного профиля / А. К. Гармаза, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик. – Минск: БГТУ, 2010. – 366 с.

Практическая работа № 1

ОБУЧЕНИЕ, ИНСТРУКТАЖ И ПРОВЕРКА ЗНАНИЙ РАБОТНИКОВ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Цель работы: изучить организацию обучения, инструктажа и проверки знаний по охране труда работающих; научиться проводить инструктажи с документальным их оформлением.

1. Общие положения

Важнейшим организационным мероприятием по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, обеспечению конституционного права граждан на здоровые и безопасные условия труда является обучение, инструктаж и проверка знаний по охране труда работающих.

Обучение и проверка знаний по вопросам охраны труда работающих проводятся в соответствии с Кодексом Республики Беларусь «Об образовании»; Положением о непрерывном профессиональном обучении рабочих (служащих) (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15.05.2007 г. № 599); Положением о порядке осуществления повышения квалификации, стажировки и переподготовки работников (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 12.03.2008 г. № 379); Инструкцией о порядке подготовки (обучения), переподготовки, стажировки, инструктажа, повышения квалификации и проверки знаний работающих по вопросам охраны труда (постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 28.11.2008 г. № 175) и разработанными в соответствии с ними отраслевыми документами.

Перед проверкой знаний по вопросам охраны труда с работающими работодателем при необходимости организуются семинары, лекции, консультации и другие занятия. О дате и месте проведения проверки знаний по вопросам охраны труда работающие уведомляются не позднее чем за 15 дней.

Проверка знаний по вопросам охраны труда проводится в индивидуальном порядке путем устного опроса или с применением компьютерной техники в объеме требований нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов, локальных норматив-

ных правовых актов, соблюдение которых входит в должностные обязанности работающего.

Лица, не прошедшие проверку знаний по вопросам охраны труда в соответствующих комиссиях, проходят повторную проверку знаний по вопросам охраны труда в срок не более одного месяца со дня ее проведения. Работающие, не прошедшие проверку знаний по вопросам охраны труда повторно, не допускаются к выполнению работ.

Проверка знаний по вопросам охраны труда лиц, не прошедших проверку в установленный срок вследствие болезни, отпуска или по другой уважительной причине, осуществляется в течение месяца со дня выхода на работу.

Ответственность за организацию своевременного и качественного обучения и проверку знаний по охране труда возлагается на нанимателя, а в подразделениях – на руководителя подразделения.

Обучение и проверка знаний по вопросам охраны труда работающих по рабочим профессиям проводятся при подготовке, переподготовке, повышении квалификации, на курсах целевого назначения. Учебные планы и программы при подготовке рабочих по профессиям должны предусматривать теоретическое обучение по вопросам охраны труда (далее – теоретическое обучение) и производственное обучение безопасным методам и приемам труда (далее – производственное обучение).

Теоретическое обучение осуществляется в рамках специального учебного предмета «Охрана труда» и (или) соответствующих разделов специальных дисциплин в объеме не менее 10 часов. При обучении профессиям рабочих, занятых на работах с повышенной опасностью, предмет «Охрана труда» преподается в объеме не менее 60 часов в учреждениях, обеспечивающих получение профессионально-технического образования, и не менее 20 часов – при обучении непосредственно в организации.

Продолжительность производственного обучения профессиям рабочих, занятых на работах с повышенной опасностью, устанавливается не менее 12 рабочих дней, на других работах – не менее 4 рабочих дней.

Профессиональная подготовка, переподготовка и повышение квалификации рабочих завершаются итоговой аттестацией в форме квалификационных экзаменов. В экзаменационные билеты включаются вопросы по охране труда. Обучение на курсах целевого назначения заканчивается сдачей зачета.

Рабочие, имеющие перерыв в работе по профессии более 3 лет, проходят стажировку на рабочем месте (далее – стажировка) перед допуском к самостоятельной работе.

Рабочие, принятые или переведенные на работы с повышенной опасностью (имеющие перерыв в выполнении указанных работ более 1 года), к самостоятельной работе допускаются после прохождения стажировки и проверки знаний по вопросам охраны труда.

Во время стажировки рабочие выполняют работу под руководством назначенных приказом руководителя организации мастеров, бригадиров, инструкторов и высококвалифицированных рабочих, имеющих стаж практической работы по данной профессии или виду работ не менее 3 лет. За руководителем стажировки может быть закреплено не более 2 рабочих. Руководители стажировки и рабочие, проходящие стажировку, должны быть ознакомлены с приказом о прохождении стажировки.

Руководитель организации с учетом требований соответствующих нормативных правовых актов утверждает перечень профессий рабочих, которые должны проходить стажировку, и устанавливает ее продолжительность (не менее 2 рабочих дней) в зависимости от квалификации рабочих и видов выполняемых ими работ.

При подготовке, переподготовке, повышении квалификации рабочих на производстве стажировка не проводится.

Рабочие, занятые на работах с повышенной опасностью, а также на объектах, поднадзорных специально уполномоченным государственным органам надзора и контроля, проходят периодическую проверку знаний по вопросам охраны труда в сроки, установленные соответствующими нормативными правовыми актами, но не реже одного раза в год.

Перечень профессий рабочих, которые должны проходить проверку знаний по вопросам охраны труда, утверждается руководителем организации на основании требований соответствующих нормативных правовых актов и с учетом типового перечня работ с повышенной опасностью (прил. П1.1).

Проверку знаний рабочих по вопросам охраны труда проводит комиссия организации или комиссия структурного подразделения. Запись о прохождении проверки знаний по вопросам охраны труда вносится в удостоверение по охране труда и личную карточку прохождения обучения по вопросам охраны труда (прил. П1.2 и П1.3).

Внеочередная проверка знаний по вопросам охраны труда рабочих проводится по требованию представителей специально уполномоченных государственных органов надзора и контроля, руководителя организации (структурного подразделения) или должностного лица организации, ответственного за организацию охраны труда, при нарушении рабочими требований по охране труда, которые могут при-

вести или привели к аварии, несчастному случаю на производстве и другим тяжелым последствиям.

Допуск рабочих к самостоятельной работе осуществляется руководителем организации (структурного подразделения) и оформляется приказом, распоряжением либо записью в журнале регистрации инструктажа по охране труда.

Обучение и повышение уровня знаний руководителей и специалистов по вопросам охраны труда осуществляются по учебным планам и программам, составленным на основании типового перечня вопросов для обучения и проверки знаний по вопросам охраны труда руководителей и специалистов.

Руководители и специалисты, принятые на работу в организацию, проходят вводный инструктаж.

Принятые на работу (переведенные на другую должность) руководители и специалисты допускаются к самостоятельной работе после ознакомления их уполномоченным должностным лицом организации с должностными обязанностями, в том числе по охране труда, нормативными правовыми актами, техническими нормативными правовыми актами, локальными нормативными правовыми актами по охране труда, соблюдение требований которых входит в их должностные обязанности, условиями и состоянием охраны труда в структурных подразделениях организации.

При необходимости специалисты, принятые или переведенные на работы, связанные с ведением технологических процессов, эксплуатацией, испытанием, наладкой и ремонтом оборудования, коммуникаций, зданий и сооружений, а также занятые на подземных работах, перед допуском к самостоятельной работе проходят стажировку по занимаемой должности.

Руководитель организации утверждает перечень должностей руководителей и специалистов, которые должны проходить проверку знаний по вопросам охраны труда.

Не позднее месяца со дня назначения на должность и периодически в соответствии с требованиями нормативных правовых актов, но не реже одного раза в 3 года, руководители и специалисты проходят проверку знаний по вопросам охраны труда в соответствующих комиссиях для проверки знаний по вопросам охраны труда.

Проверка знаний по вопросам охраны труда руководителей и специалистов проводится с учетом их должностных обязанностей и характера производственной деятельности, а также требований нормативных правовых актов, в том числе технических нормативных правовых актов и

локальных нормативных правовых актов, содержащих требования по охране труда, соблюдение которых входит в их должностные обязанности.

Руководителям и специалистам, прошедшим проверку знаний по вопросам охраны труда, выдается удостоверение по охране труда.

Внеочередная проверка знаний руководителей и специалистов по вопросам охраны труда проводится:

- при переводе руководителя или специалиста на другое место работы или назначении его на должность, где требуются дополнительные знания по охране труда;
- при принятии актов законодательства, содержащих требования по охране труда, соблюдение которых входит в их должностные обязанности. При этом осуществляется проверка знаний только данных актов законодательства;
- по требованию специально уполномоченных государственных органов надзора и контроля;
- по решению руководителя организации или другого должностного лица, ответственного за организацию охраны труда, при выявлении нарушений требований по охране труда или незнании норм нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов, локальных нормативных правовых актов по охране труда, которые могут привести или привели к аварии, несчастному случаю на производстве и другим тяжелым последствиям;
- при перерыве в работе в данной должности более одного года.

Инструктаж по охране труда. По характеру и времени проведения инструктаж по охране труда подразделяют на вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый, целевой.

Вводный инструктаж по охране труда проводится со всеми работающими при приеме их на постоянную или временную работу в организацию, участии в производственном процессе, привлечении к работам в организации или на ее территории, выполнении работ по заданию организации (по заключенному с организацией договору).

Вводный инструктаж проводится также с работниками других организаций, в том числе командированными, при участии их в производственном процессе или выполнении работ на территории организации.

Вводный инструктаж проводится по утвержденной руководителем организации программе, которая разрабатывается с учетом специфики деятельности организации на основании типового перечня вопросов программы вводного инструктажа по охране труда (прил. П1.4).

Вводный инструктаж проводит инженер по охране труда или специалист организации, на которого возложены эти обязанности.

При наличии в организации пожарной, газоспасательной и медицинской служб вводный инструктаж по соответствующим разделам программы вводного инструктажа может быть дополнен инструктажем, проводимым работниками указанных служб.

Регистрация вводного инструктажа осуществляется в журнале регистрации вводного инструктажа по охране труда (прил. П1.5).

При территориальной удаленности структурного подразделения руководителем организации могут возлагаться обязанности по проведению вводного инструктажа на руководителя данного структурного подразделения. Регистрация вводного инструктажа в этом случае осуществляется в журнале регистрации вводного инструктажа по месту его проведения.

Первичный инструктаж по охране труда на рабочем месте до начала работы проводят с работающими: принятыми на работу; переведенными из одного подразделения в другое или с одного объекта на другой; участвующими в производственном процессе, привлеченными к работам в организации или выполняющими работы по заданию организации (по заключенному с организацией договору).

Первичный инструктаж на рабочем месте проводится также с работниками других организаций, в том числе командированными, при участии их в производственном процессе или выполнении работ на территории организации. С работниками других организаций, выполняющими работы на территории организации, данный инструктаж проводит руководитель работ при участии руководителя или специалиста организации, на территории которой проводятся работы.

Первичный инструктаж на рабочем месте проводится индивидуально с практическим показом безопасных приемов и методов труда. Первичный инструктаж допускается проводить с группой лиц, обслуживающих однотипное оборудование и в пределах общего рабочего места.

Первичный инструктаж на рабочем месте проводится по утвержденной руководителем организации программе, составленной с учетом особенностей производства (выполняемых работ) и требований нормативных правовых актов по охране труда, или по инструкциям по охране труда для профессий и видов работ.

В журнале регистрации инструктажа по охране труда или личной карточке прохождения обучения указываются наименования программ первичного инструктажа на рабочем месте или номера инструкций по охране труда, по которым проведен инструктаж по охране труда.

Повторный инструктаж по охране труда проводится со всеми работающими не реже одного раза в шесть месяцев по программе первичного инструктажа на рабочем месте или по инструкциям по охране труда для профессий и видов работ.

Первичный инструктаж на рабочем месте и повторный инструктаж могут не проводиться с лицами, которые не заняты на работах по монтажу, эксплуатации, наладке, обслуживанию и ремонту оборудования, использованию инструмента, хранению и применению сырья и материалов (за исключением работ с повышенной опасностью).

Перечень профессий и должностей работников, освобождаемых от первичного на рабочем месте и повторного инструктажей, составляется службой охраны труда с участием профсоюза и утверждается руководителем организации.

Внеплановый инструктаж по охране труда проводится:

- при принятии новых нормативных правовых актов, в том числе технических нормативных правовых актов и локальных нормативных правовых актов, содержащих требования по охране труда, или внесении изменений и дополнений к ним;
- при изменении технологического процесса, замене или модернизации оборудования, приборов и инструмента, сырья, материалов и других факторов, влияющих на безопасность труда;
- при нарушении работающими нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов, локальных нормативных правовых актов, содержащих требования по охране труда, которое привело или могло привести к аварии, несчастному случаю на производстве и другим тяжелым последствиям;
- при перерывах в работе по профессии (в должности) более шести месяцев;
- при поступлении информации об авариях и несчастных случаях, происшедших в однопрофильных организациях.

Внеплановый инструктаж проводится также по требованию представителей специально уполномоченных государственных органов надзора и контроля, вышестоящих государственных органов или государственных организаций, должностного лица организации, на которого возложены обязанности по организации охраны труда, при нарушении нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов, локальных нормативных правовых актов по охране труда.

Внеплановый инструктаж проводится индивидуально или с группой лиц, работающих по одной профессии (должности), выполняющих один вид работ. Объем и содержание инструктажа определяются в зависимости от причин и обстоятельств, вызвавших необходимость его проведения.

Целевой инструктаж по охране труда проводят при выполнении разовых работ, не связанных с прямыми обязанностями по специальности

(погрузка, разгрузка, уборка территории и др.); ликвидации последствий аварий, стихийных бедствий и катастроф; производстве работ, на которые оформляется наряд-допуск; проведении экскурсий в организации.

Первичный, повторный, внеплановый и целевой инструктаж проводит непосредственный руководитель работ (начальник производства, цеха, участка, мастер, инструктор и другие должностные лица).

Инструктаж по охране труда завершается проверкой знаний устным опросом или с помощью технических средств обучения, а также проверкой приобретенных навыков безопасных методов и приемов работы лицом, проводившим инструктаж.

Проведение первичного, повторного, внепланового, целевого инструктажа и стажировки подтверждается подписями лиц, проводивших и прошедших инструктаж, стажировку, в журнале регистрации инструктажа по охране труда (прил. П1.6) или в личной карточке прохождения обучения. Допускается регистрация целевого инструктажа в отдельном журнале.

В случае проведения целевого инструктажа с лицами, выполняющими работы по наряду-допуску, отметка о его проведении производится в наряде-допуске.

При регистрации внепланового инструктажа в журнале регистрации инструктажа по охране труда указывается причина его проведения.

Журналы регистрации вводного инструктажа по охране труда, регистрации инструктажа по охране труда, регистрации целевого инструктажа по охране труда должны быть пронумерованы, прошнурованы и скреплены печатью. Журнал регистрации вводного инструктажа заверяется подписью руководителя организации или уполномоченного им лица. Журналы регистрации инструктажа по охране труда, регистрации целевого инструктажа по охране труда заверяются подписью руководителя организации или структурного подразделения организации.

Срок хранения названных журналов десять лет с даты внесения последней записи.

2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с требованиями нормативных документов и данными общими положениями.

2. Провести инструктаж в соответствии с инструкцией по охране труда.

3. Зарегистрировать инструктаж в журнале регистрации инструктажей по охране труда с учетом времени и причин его проведения.

Приложение П1.1

Типовой перечень работ с повышенной опасностью

1. Работа в действующих электроустановках и на воздушных линиях связи, пересекающих линии электропередачи и контактные провода или расположенных с ними на одних опорах.
2. Строительные, строительного-монтажные и ремонтно-строительные работы.
3. Работы в охранных зонах воздушных линий электропередачи, газопроводов и других подземных коммуникаций, а также складов легковоспламеняющихся или горючих жидкостей, горючих или сжиженных газов.
4. Работы в зданиях или сооружениях, находящихся в аварийном состоянии.
5. Работы в пределах зон с постоянно действующими опасными производственными факторами.
6. Разборка зданий и сооружений.
7. Работы с подвесных люлек и люлек подъемников.
8. Земляные работы на участках с патогенным заражением почвы.
9. Работы в зонах действия токов высокой частоты, электростатического и электромагнитных полей, с применением лазеров.
10. Огневые работы (электросварочные, газосварочные, газорезочные, паяльные и другие работы, связанные с открытым огнем), а также техническое обслуживание, испытание и ремонт используемого при проведении указанных работ оборудования.
11. Термическая обработка металлов.
12. Работы, связанные с прокладкой и монтажом кабелей в траншеях и подземных коммуникациях.
13. Работы с применением ручных пневматических и электрических машин и инструмента (кроме пневматического инструмента, используемого при механосборочных работах на конвейерах сборки).
14. Работы с опасными веществами (воспламеняющимися, окисляющимися, горючими, взрывчатыми, токсичными, высокотоксичными).
15. Эксплуатация, испытания и ремонт агрегатов и котлов, работающих на газе, твердом и жидком топливе, другого теплоэнергетического оборудования, а также трубопроводов пара и горячей воды.
16. Эксплуатация, испытания и ремонт сосудов, работающих под давлением.
17. Работы по испытанию, наладке, эксплуатации и ремонту пассажирских и грузовых лифтов и эскалаторов.

18. Эксплуатация, ремонт и техническое обслуживание грузоподъемных кранов, подъемников и других грузоподъемных машин и механизмов.

19. Работы, выполняемые с использованием грузоподъемного оборудования, и погрузочно-разгрузочные работы с применением средств механизации.

20. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт компрессорных и холодильных установок, а также насосно-компрессорных установок, перекачивающих сжиженные углеводородные газы.

21. Монтаж, эксплуатация и ремонт систем газоснабжения и магистральных трубопроводов, газопроводов, технологических трубопроводов газонаполнительных станций, газораспределительных пунктов, монтаж и сварка подземных, наружных и внутренних газопроводов, подключение к действующему газопроводу вновь смонтированных газопроводов, монтаж и эксплуатация средств электрохимической защиты подземных газопроводов, техническое обслуживание газового хозяйства и другие газоопасные работы.

22. Работы по добыче, транспортированию и переработке нефти, газа и конденсата.

23. Работы в охранных зонах действующих газопроводов.

24. Производство, хранение, использование, погрузка, транспортирование и выгрузка взрывопожароопасных и токсичных химических веществ.

25. Работы с радиоактивными веществами и оборудованием, содержащим радиоактивные вещества.

26. Измерительные работы в радиационной зоне.

27. Работы с ядовитыми, канцерогенными, токсичными и другими вредными веществами, а также по дезактивации, дезинсекции, дератизации и дезинфекции помещений.

28. Эксплуатация циклотронов, бетатронов, установок ионного легирования, рентгеновских аппаратов медицинского и промышленного применения, а также приборов и устройств, излучающих электромагнитное и другое излучение.

29. Работы с инертными газами, кислотами, щелочами, ртутью, хлором, свинцом, их соединениями, редкоземельными металлами.

30. Производство и применение биопрепаратов.

31. Производство стекла и стеклоизделий.

32. Производство и применение химических волокон, стекловолокон и изделий из них, асбеста, мастик на битумной основе,

стекловаты, шлаковаты, перхлорвиниловых, бакелитовых и тому подобных материалов.

33. Производство изделий из пластических масс и резины.

34. Работы, выполняемые с применением токсичных, взрыво- и пожароопасных материалов при подготовке поверхностей к окрашиванию, окрашивании, сушке и обработке окрашенных поверхностей.

35. Работы антикоррозионные.

36. Эксплуатация, ремонт и техническое обслуживание транспортных средств, самоходных сельскохозяйственных машин и гусеничных тракторов.

37. Кузнечно-прессовые работы.

38. Обработка металлов резанием с использованием металлообрабатывающего оборудования.

39. Работы с абразивным и эльборовым инструментом.

40. Работы, связанные с получением проката, а также отливок из металлов и их сплавов.

41. Работы с применением пиротехнического инструмента и оборудования.

42. Работы по тепловой изоляции оборудования и трубопроводов.

43. Работы по нанесению покрытий на детали и изделия.

44. Лесозаготовительные работы.

45. Деревообрабатывающее производство.

46. Производство, хранение, транспортирование и применение пестицидов, агрохимикатов и гербицидов.

47. Кровельные и другие работы на крыше здания.

48. Работы водолазные.

49. Гашение извести.

50. Работы с пескоструйными и дробеструйными аппаратами и установками.

51. Работы по нанесению бетона, изоляционных и обмуровочных материалов методом набрызгивания и напыления.

52. Подземные и открытые горные работы (в шахтах, рудниках, при строительстве тоннелей и станций метрополитенов, коллекторов и подземных сооружений специального назначения, при разработке полезных ископаемых).

53. Работы по строительству подземных сооружений специальными способами (цементация и химическое закрепление грунтов и фундаментов, забивка свай, искусственное замораживание грунтов и водопонижение, продавливание тоннельных конструкций под дамбами, сооружениями, магистралями, водоемами и другие).

54. Геолого-маркшейдерские работы.
55. Сейсморазведка и электроразведка.
56. Размывание пород с использованием гидромониторов и других средств механизации.
57. Работа в замкнутых пространствах (колодцах, шурфах, котлованах, бункерах, камерах, резервуарах и подземных коммуникациях), а также под водой и в траншеях на глубине более двух метров.
58. Работы на высоте.
59. Обслуживание распашных ворот и ворот с механическим приводом.
60. Работы по изготовлению и применению пиротехнических изделий.
61. Работы огневых расчетов с противоголовыми, порошковыми зарядами и пусковыми установками метеоракет.
62. Обслуживание отдельных видов животных (быков, собак, кабанов, жеребцов и других), работа с дикими зверями.
63. Работы в службах движения, пути, подвижного состава, тоннельных сооружений, сигнализации и связи метрополитенов.
64. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава и сооружений железнодорожного транспорта, городского электрического транспорта.
65. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт центрифуг, транспортеров, аспирационных и пневмотранспортных систем.
66. Работы, выполняемые на воде и над водой, на морских и речных судах, на переправах (ледовых, паромных, лодочных).
67. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт летательных аппаратов.
68. Работа цирковых артистов и каскадеров.
69. Работа в инфекционных, туберкулезных и психоневрологических организациях здравоохранения, а также при контакте с микроорганизмами, возбудителями инфекционных болезней и СПИДа.
70. Работы по отлову собак, других животных.
71. Аварийно-спасательные работы, тушение пожаров, ликвидация последствий паводков и других чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.
72. Работы по эксплуатации, обслуживанию и ремонту водопроводно-канализационных сооружений и сетей.
73. Работы по эксплуатации и ремонту оборудования и машин для стирки и сушки белья инфекционных больных, специальной одежды, загрязненной радиоактивными веществами, в пунктах захоронения радиоактивных отходов.

74. Охрана объектов любых форм собственности.
75. Земляные работы, выполняемые в зоне размещения подземных коммуникаций.
76. Работы по приемке, хранению и отгрузке нефтепродуктов.
77. Сельскохозяйственные, лесохимические, лесохозяйственные, строительные работы, выполняемые на территориях, загрязненных цезием-134 или цезием-137 свыше 5 Ки/км^2 .
78. Работы в зоне опасного (свыше установленных предельно допустимых уровней) действия ультразвукового, инфразвукового, электромагнитного и других полей.
79. Буровые и геологоразведочные работы.
80. Эксплуатация, обслуживание и ремонт дорожных, строительных, землеройных машин и механизмов.
81. Работы, выполняемые в полярных районах Земли.
82. Выполнение работ с использованием методов промышленного альпинизма.

Приложение П1.2 Форма удостоверения по охране труда

Лицевая сторона

(наименование организации)

УДОСТОВЕРЕНИЕ по охране труда

Левая сторона

УДОСТОВЕРЕНИЕ № _____

выдано _____
(фамилия, имя, отчество)

Профессия (должность) _____

Место работы _____

В том, что у него (нее) проведена проверка знаний по вопросам охраны труда в объеме, соответствующем профессиональным (должностным) обязанностям _____

(видам работ)

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № ____

Председатель комиссии _____

(подпись)

М.П.

(инициалы, фамилия)

Представитель специально
уполномоченного государственного
органа надзора и контроля
(подписывает при участии
в работе комиссии) _____
(подпись, должность)

(инициалы, фамилия)

Последующие страницы удостоверения

Сведения о последующих проверках знаний

Дата	Причина проверки знаний по вопросам охраны труда	Отметка о проверке знаний по вопросам охраны труда (прошел, прошла)	Дата следующей проверки знаний по вопросам охраны труда	Подпись председателя комиссии для проверки знаний по вопросам охраны труда	Протокол №__ по проверке знаний по вопросам охраны труда, дата
------	--	---	---	--	--

Примечание. В удостоверении могут быть дополнительные вкладыши об обязательных медицинских осмотрах, праве выполнения специальных работ и других сведениях.

Приложение П1.3

Форма личной карточки прохождения обучения по вопросам охраны труда

(наименование организации)

ЛИЧНАЯ КАРТОЧКА прохождения обучения по вопросам охраны труда

1. Фамилия, имя, отчество _____
2. Год рождения _____
3. Профессия, специальность _____
4. Структурное подразделение _____
5. Табельный № _____
6. Дата поступления в структурное подразделение _____
7. Вводный инструктаж по охране труда провел _____
(ФИО, должность)

(подпись, дата)

(подпись рабочего, прошедшего инструктаж по охране труда, дата)

8. Отметка о прохождении инструктажа:

Дата проведения инструктажа по охране труда	Цех (участок, отдел, лаборатория)	Профессия лица, прошедшего инструктаж по охране труда	Вид инструктажа по охране труда	Причина проведения внепланового инструктажа по охране труда	Фамилия, инициалы должностного лица, проводившего инструктаж по охране труда	Подпись		Стажировка на рабочем месте		Знания проверил, допуск к работе произвел (подпись, дата)
						должностного лица, проводившего инструктаж по охране труда	лица, прошедшего инструктаж по охране труда	количество рабочих дней (с__ по__)	стажировку прошел (подпись)	

Последующие страницы

9. Сведения о прохождении обучения по вопросам охраны труда:

Прошел обучение по профессии или виду работ	Количество часов	Протокол №__ проверки знаний по вопросам охраны труда, дата	Председатель комиссии (подпись)
---	------------------	---	---------------------------------

10. Сведения о последующих проверках знаний:

Дата	В объеме каких инструкций по охране труда или нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов, содержащих требования по охране труда	Протокол №__ проверки знаний по вопросам охраны труда	Подпись	
			лица, прошедшего проверку знаний по вопросам охраны труда	председателя комиссии для проверки знаний по вопросам охраны труда

Приложение П1.4

Типовой перечень вопросов программы вводного инструктажа по охране труда

1. Сведения об организации, о характере и степени опасности факторов производственной среды и трудового процесса, наличии потенциально опасных видов деятельности, производств и объектов.

2. Правила поведения работающих на территории организации, в производственных зданиях (помещениях).

3. Основные положения Трудового кодекса Республики Беларусь, Закона Республики Беларусь от 23 июня 2008 года «Об охране труда», других нормативных правовых актов по охране труда:

3.1. трудовой договор, рабочее время и время отдыха. Охрана труда женщин и лиц моложе 18 лет. Коллективный договор (соглашение). Компенсации по условиям труда;

3.2. правила внутреннего трудового распорядка организации, ответственность за нарушение этих правил;

3.3. организация работы по управлению охраной труда, проведению контроля за соблюдением законодательства об охране труда в организации:

обязанности работодателя по обеспечению охраны труда;

обязанности работающего по охране труда;

право работающего на охрану труда;

ответственность работающего за нарушение требований охраны труда;

предварительные при поступлении на работу, периодические и внеочередные медицинские осмотры;

возмещение вреда, причиненного жизни и здоровью работника, связанного с исполнением им трудовых обязанностей;

обязательное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

4. Основные вредные и (или) опасные производственные факторы, характерные для конкретного производства, особенности их воздействия на работающих.

5. Обеспечение средствами индивидуальной защиты.

6. Обеспечение смывающими и обезвреживающими средствами.

7. Обстоятельства и причины несчастных случаев, аварий, инцидентов, пожаров, происшедших в организации и других организациях, осуществляющих однородный вид деятельности.

8. Порядок расследования и учета несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

9. Действия работников при несчастном случае на производстве. Оказание первой помощи потерпевшим при несчастных случаях.

10. Гигиена труда. Требования личной гигиены.

11. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций. Способы защиты и действия в чрезвычайных ситуациях. Пожарная безопасность. Обеспечение пожарной безопасности и противопожарного режима в организации.

Приложение П1.5

**Форма журнала регистрации вводного инструктажа
по охране труда**

Обложка

(наименование организации)

ЖУРНАЛ
регистрации вводного инструктажа по охране труда

Начат _____

Окончен _____

Последующие страницы

№ п/п	Дата прове- дения вводно- го инст- руктажа по ох- ране труда	Фами- лия, имя, отчество лица, прошед- шего вводный инструк- таж по охране труда	Профес- сия (долж- ность) лица, прошед- шего вводный инструк- таж по охране труда	Наиме- нование места работы (струк- турного подраз- деле- ния)	Фамилия, имя, отче- ство должност- ного лица, проводив- шего вводный инструк- таж по ох- ране труда	Долж- ность лица, прово- дивше- го ввод- ный ин- струк- таж по охране труда	Подпись	
							должно- стного лица, прово- дившего вводный инст- руктаж по охра- не труда	лица, прошед- шего вводный инструк- таж по охране труда

Приложение П1.6

Форма журнала регистрации инструктажа по охране труда

Обложка

(наименование организации)

ЖУРНАЛ
регистрации инструктажа по охране труда

(наименование структурного подразделения организации)

(цех, участок, отдел, лаборатория)

Начат _____

Окончен _____

№ п/п	Дата прове- дения инст- рукта- жа по охране труда	Фами- лия, инициа- лы лица, про- шедше- го инст- руктаж по охра- не труда	Профес- сия (долж- ность) лица, прошед- шего инст- руктаж по охра- не труда	Вид инст- рук- тажа по охране труда	Причина проведе- ния вне- плано- вого, целевого инструк- тажа по охране труда	На- звание доку- мен- тов или их номе- ра	Фами- лия, инициа- лы должно- стного лица, прово- дившего инструк- таж по охране труда	Подпись		Стажировка на рабочем месте		Знания прове- рил, допуск к работе произвел (под- пись, дата)
								лица, про- шед- шего инст- руктаж по охране труда	должно- стного лица, прово- дившего инст- руктаж по охра- не труда	количе- ство рабочих дней (с ____ по ____)	стажи- ровку прошел (под- пись)	

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие нормативные документы определяют организацию обучения, инструктажа и проверки знаний работников по вопросам охраны труда?
2. Кто несет ответственность за организацию обучения, инструктажа и проверки знаний работников по вопросам охраны труда на предприятии (в организации)?
3. Каков порядок повторной аттестации работников, не прошедших проверку знаний по вопросам охраны труда?
4. Где и в каком объеме проходят обучение по охране труда рабочие?
5. Как часто должны проходить проверку знаний по вопросам охраны труда руководители и специалисты?
6. В каких случаях проводится внеочередная проверка знаний руководителей и специалистов по охране труда?
7. Какие существуют виды инструктажа по охране труда?
8. Порядок проведения и регистрации вводного (первичного, повторного, внепланового, целевого) инструктажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конституция Республики Беларусь 1994 года (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 ноября 1996 г. и 17 октября 2004 г.). – Минск: Амалфея, 2005. – 48 с.
2. Трудовой кодекс Республики Беларусь с обзором изменений, внесенных законами Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 273-3,

6 января 2009 г. № 6-3: принят Палатой представителей 8 июня 1999 г.: одобрен Советом Респ. 30 июня 1999 г.: текст Кодекса по состоянию на 6 июня 2009 г. / авт. обзора К. И. Кеник. – Минск: Амалфея, 2009. – 288 с.

3. Закон «Об охране труда» и документы, принятые в целях его реализации // Библиотека журнала «Ахова працы»; гл. ред. В. Крылов. – 2009. – № 2 (111). – 128 с.

4. Инструкция о порядке подготовки (обучения), переподготовки, стажировки, инструктажа, повышения квалификации и проверки знаний работающих по вопросам охраны труда: утв. постановлением М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь, 28 нояб. 2008 г., № 175 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2009. – № 53. – 8/20209.

Практическая работа № 2

АТТЕСТАЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДОПЛАТ ЗА УСЛОВИЯ ТРУДА

Цель работы: изучить методику проведения аттестации рабочих мест по условиям труда; определить размер доплат за условия труда.

1. Общие положения

Аттестация рабочих мест по условиям труда (далее – аттестация) – система учета, анализа и комплексной оценки на конкретном рабочем месте всех факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, воздействующих на здоровье и трудоспособность человека в процессе трудовой деятельности.

Аттестация осуществляется в соответствии с нормативно-методическими документами: Законом Республики Беларусь «О пенсионном обеспечении» (1992); постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 февраля 2008 г. № 253 «Об аттестации рабочих мест по условиям труда»; постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 22 февраля 2008 г. № 35 «Об утверждении Инструкции по оценке условий труда при аттестации рабочих мест по условиям труда и предоставлению компенсаций по ее результатам» с изменениями, утвержденными постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 13 января 2009 г. № 7; постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 20 декабря 2007 г. № 176 «Об утверждении санитарных норм, правил и гигиенических нормативов 13-2-2007 «Гигиеническая классификация условий труда» с последующими изменениями и дополнениями.

1.1. Порядок проведения аттестации рабочих мест

Аттестация рабочих мест по условиям труда проводится в целях комплексной оценки условий труда на конкретном рабочем месте для разработки и реализации плана мероприятий по улучшению условий труда, определения права работника на пенсию по возрасту за работу

с особыми условиями труда, дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, сокращенную продолжительность рабочего времени за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, оплату труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, а также для определения обязанностей нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников в соответствии с Законом Республики Беларусь от 5 января 2008 года «О профессиональном пенсионном страховании» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 16, 2/1419).

Для организации и проведения аттестации наниматель издает приказ, в соответствии с которым: утверждается состав аттестационной комиссии организации, определяются ее полномочия, назначаются председатель аттестационной комиссии и лицо, ответственное за ведение и хранение документации по аттестации; при необходимости создаются аттестационные комиссии в структурных подразделениях; устанавливаются сроки и график проведения работ по аттестации в организации (структурных подразделениях).

В состав аттестационной комиссии включаются работники служб охраны труда, кадровой, юридической, организации труда и заработной платы, промышленно-санитарной лаборатории, руководителей структурных подразделений организации, медицинских работников, представителей профсоюза.

Аттестационная комиссия:

- осуществляет проведение аттестации, а также организационное, методическое руководство и контроль за ее ходом;
- формирует в организации необходимую для проведения аттестации нормативную правовую базу и организует ее изучение;
- определяет перечень рабочих мест, подлежащих аттестации;
- устанавливает соответствие наименования профессий рабочих и должностей служащих Общегосударственному классификатору Республики Беларусь «Профессии рабочих и должности служащих» (ОКРБ 006-2009) и характера фактически выполняемых работ характеристикам работ, приведенным в соответствующих выпусках Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих (ЕТКС) и Единого квалификационного справочника должностей служащих (ЕКСД).

- определяет исполнителей: для измерения и исследования уровней вредных и опасных факторов производственной среды из числа собственных аккредитованных испытательных лабораторий или при-

влекает на договорной основе другие аккредитованные испытательные лаборатории; для оценки условий труда по показателям тяжести и напряженности трудового процесса из числа собственных специалистов или привлекает на договорной основе организации, имеющие в соответствии с законодательством право на осуществление деятельности, связанной с проведением аттестации;

- проводит перед началом измерений уровней вредных и опасных факторов производственной среды обследование рабочих мест в целях проверки на соответствие производственного оборудования и технологических процессов требованиям охраны труда и принимает меры по устранению выявленных недостатков;

- организует: проведение фотографии рабочего времени и оформление карты фотографии рабочего времени; составление карты аттестации рабочего места по условиям труда;

- ознакомление работников с результатами аттестации.

Фотография рабочего времени – последовательное фиксирование времени, затрачиваемого работающим в течение рабочего дня (смены) на выполнение определенных технологическим процессом операций и перерывы в работе.

Карта аттестации – документ, содержащий количественные и качественные характеристики факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.

В ходе проведения аттестации подлежат оценке все присутствующие на рабочем месте вредные и опасные факторы производственной среды, тяжесть и напряженность трудового процесса.

Измерения и исследования уровней вредных и опасных факторов производственной среды для аттестации проводятся испытательными лабораториями, аккредитованными в соответствии с требованиями системы аккредитации Республики Беларусь.

Измерения уровней вредных и опасных факторов производственной среды проводятся в присутствии представителя аттестационной комиссии при ведении производственных процессов в соответствии с технологической документацией при исправных, эффективно действующих средствах защиты и характерных производственных условиях.

Результаты измерений и исследований уровней вредных и опасных факторов производственной среды и результаты количественных измерений и расчетов показателей тяжести трудового процесса для аттестации оформляются протоколами.

Сведения о результатах оценки условий труда заносятся в карту и удостоверяются подписями членов аттестационной комиссии и ее пред-

седателя. Допускается составление одной карты на группу аналогичных по характеру выполняемых работ и условиям труда рабочих мест.

К карте прилагаются:

- карта фотографии рабочего времени, протоколы измерений и исследований уровней вредных и опасных факторов производственной среды для аттестации;

- протоколы количественных измерений и расчетов показателей тяжести трудового процесса.

По итогам аттестации составляются:

- перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждены особые условия труда, соответствующие требованиям списков производств, работ, профессий, должностей и показателей, дающих право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда;

- перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждено право на дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;

- перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждены вредные и (или) опасные условия труда, соответствующие требованиям списка производств, цехов, профессий и должностей с вредными и (или) опасными условиями труда, работа в которых дает право на сокращенную продолжительность рабочего времени;

- перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждено право на доплаты за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;

- план мероприятий по улучшению условий труда.

Указанные перечни рабочих мест, согласованные с профсоюзом, утверждаются приказом нанимателя. В приказе также указываются рабочие места, на которых результатами аттестации не подтверждены (с указанием конкретных причин) условия труда, дающие право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда, дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, сокращенную продолжительность рабочего времени за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, оплату труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, а также условия труда, влекущие обязанности нанимателя по профессиональному пенсионному обеспечению работников.

Аттестация считается завершенной со дня издания приказа нанимателя об утверждении ее результатов.

Работники, на рабочих местах которых проводилась аттестация, должны быть ознакомлены с итоговыми документами по результатам аттестации (карта, приказ) под роспись.

Наниматель представляет в управления (отделы) государственной экспертизы условий труда комитетов по труду, занятости и социальной защите областных и Минского городского исполнительных комитетов и управления (отделы) по труду, занятости и социальной защите районных, городских исполнительных и распорядительных органов по месту нахождения организации по одному экземпляру копий перечня рабочих мест, указанных выше. В управления (отделы) государственной экспертизы условий труда комитетов по труду, занятости и социальной защите областных и Минского городского исполнительных комитетов наниматель представляет также план мероприятий по улучшению условий труда.

Приказы, перечни рабочих мест, другие документы по аттестации, необходимые для подтверждения работнику права на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда и определения обязанностей нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников, хранятся нанимателем в течение срока, установленного для хранения документов о стаже работы.

Внеочередная аттестация (переаттестация) проводится:

- в случае изменения законодательства, требующего ее проведение;
- при изменении условий труда в связи с заменой либо модернизацией производственного оборудования, заменой сырья и материалов, изменением технологического процесса и средств коллективной защиты;
- по требованию органов государственной экспертизы условий труда Республики Беларусь;
- по инициативе нанимателя (при улучшении условий труда), профсоюза.

Аттестация проводится один раз в пять лет. При этом начало и продолжительность проведения аттестации определяются с учетом того, что она должна быть завершена до окончания действия результатов предыдущей аттестации.

Пенсия по возрасту за работу с особыми условиями труда, дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, сокращенная продолжительность рабочего времени за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, оплата труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и

(или) опасными условиями труда по результатам аттестации предоставляются работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда в течение полного рабочего дня.

Под полным рабочим днем понимается выполнение работы с вредными и (или) опасными условиями труда не менее 80% от продолжительности ежедневной работы (смены), установленной законодательством. При этом в рабочее время включается подготовительно-заключительное время, оперативное время (основное и вспомогательное) и время обслуживания рабочего места в пределах установленных нормативов, а также время регламентированных перерывов.

1.2. Гигиеническая классификация условий труда

В основу аттестации рабочих мест положены гигиенические критерии оценки условий труда, установленные в Санитарных нормах, правилах и гигиенических нормативах 13-2-2007 «Гигиеническая классификация условий труда», утвержденных постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 20.12.2007 г. № 176.

В соответствии с этим документом условия труда подразделяются на четыре класса: оптимальные, допустимые (безопасные), вредные и опасные.

Оптимальные условия труда (1-й класс) – это такие условия, при которых сохраняется здоровье работающих и создаются предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности. Оптимальные нормативы установлены для микроклиматических параметров и факторов трудового процесса. Для других факторов условно за оптимальные принимаются такие условия труда, при которых опасные и вредные производственные факторы условий труда отсутствуют либо не превышают уровни, принятые в качестве безопасных для населения.

Допустимые условия труда (2-й класс) характеризуются такими уровнями факторов среды и трудового процесса, которые не превышают установленных гигиенических нормативов для рабочих мест, а возможные изменения функционального состояния организма, возникающие под их воздействием, восстанавливаются во время регламентированного отдыха или к началу следующей смены и не оказывают неблагоприятного действия на состояние здоровья работающих и их потомство в ближайшем и отдаленном периоде.

Вредные условия труда (3-й класс) характеризуются наличием вредных производственных факторов, выходящих за пределы гигие-

нических нормативов и оказывающих неблагоприятное воздействие на организм работающего и (или) его потомство.

По уровню отклонения параметров факторов от гигиенических нормативов и выраженности изменений в организме работающих они подразделяются на четыре степени вредности:

- 1-я степень 3-го класса (3.1) – условия труда характеризуются такими отклонениями уровней вредных факторов от гигиенических нормативов, которые вызывают функциональные изменения, восстанавливающиеся, как правило, при более длительном (чем к началу следующей смены) прерывании контакта с вредными факторами и увеличивают риск повреждения здоровья;

- 2-я степень 3-го класса (3.2) – уровни вредных факторов, вызывающие стойкие функциональные изменения, приводящие в большинстве случаев к увеличению производственно обусловленной заболеваемости, проявляющейся в повышении уровня заболеваемости с временной утратой трудоспособности и, прежде всего, теми болезнями, которые отражают состояние наиболее уязвимых органов и систем для данных вредных факторов; проявлению начальных признаков или легких, без потери профессиональной трудоспособности, форм профессиональных заболеваний, возникающих после продолжительной экспозиции (часто после 15 и более лет);

- 3-я степень 3-го класса (3.3) – условия труда, характеризующиеся такими уровнями вредных факторов, воздействие которых, как правило, приводит к развитию профессиональных заболеваний легкой и средней степени тяжести (с потерей профессиональной трудоспособности) в периоде трудовой деятельности, а также росту хронической (производственно обусловленной) патологии, включая повышенные уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности;

- 4-я степень 3-го класса (3.4) – условия труда, при которых могут возникать тяжелые формы профессиональных заболеваний (с потерей общей трудоспособности); отмечается значительный рост числа хронических заболеваний и высокий уровень заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

Опасные условия труда (4-й класс) характеризуются уровнями производственных факторов, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) может создать угрозу для жизни, высокий риск развития острых профессиональных поражений, в том числе и тяжелых форм. При этом работа должна проводиться в соответствующих средствах индивидуальной защиты и при строгом соблюдении режи-

мов, регламентированных для такого вида работ и обеспечивающих безопасность для здоровья работающих.

1.3. Оценка условий труда при аттестации рабочих мест по условиям труда

Оценка условий труда при аттестации – это проведение оценок факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, оказывающих воздействие на работоспособность и здоровье работника в процессе труда.

Оценка факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса проводится путем сопоставления полученных в результате измерений и исследований их фактических величин с гигиеническими нормативами и последующим соотнесением величин отклонения каждого фактора производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса с критериями, на основании которых устанавливается класс условий труда.

Оценка факторов производственной среды проводится с учетом времени их воздействия в течение рабочего времени. Если влияние вредного и (или) опасного фактора производственной среды на работника составляет менее 50 и до 10% (включительно) от продолжительности рабочего времени, класс условий труда по данному фактору снижается на одну степень; при продолжительности воздействия фактора производственной среды на работника менее 10% от продолжительности рабочего времени производится снижение класса условий труда на две степени.

Структура рабочего времени, время воздействия вредных и (или) опасных факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, занятость с вредными и (или) опасными условиями труда определяются на основании результатов фотографий рабочего времени.

При проведении аттестации рабочих мест проводится оценка условий труда по химическому фактору; по биологическому фактору; в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны пылей и аэрозолей; по виброакустическим факторам; по фактору электромагнитных полей и неионизирующих излучений; при работах с источниками ионизирующего излучения; по микроклиматическим условиям; по параметрам освещения рабочих мест; при воздействии аэроионизации; по тяжести трудового процесса; по напряженности трудового процесса в соответствии с Инструкцией по оценке условий труда при аттестации

рабочих мест по условиям труда и предоставлению компенсаций по ее результатам (постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 22.02.2008 г. № 35).

Общая оценка условий труда по классу (степени) проводится на основании оценок по всем факторам производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.

Общая оценка условий труда на рабочем месте устанавливается по наиболее высокому классу и степени вредности.

При наличии 3-х и более факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, относящихся к классу 3.1, общая оценка условий труда соответствует классу 3.2.

При наличии 2-х и более факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, относящихся к классам 3.2, 3.3 и 3.4 – условия труда оцениваются соответственно на одну степень выше.

Классы условий труда в зависимости от некоторых факторов производственной среды представлены в табл. П2.1.

Результаты измерений и исследований, а также оценки вредных и (или) опасных факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса заносятся в карту аттестации рабочего места по условиям труда.

Таблица П2.1

Классы условий труда в зависимости от факторов производственной среды

Фактор			Классы условий труда					
			допус- тимый	вредный				опас- ный
				2	3.1	3.2	3.3	
1			2	3	4	5	6	7
<i>Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ химической природы (превышение ПДК, раз)</i>								
Вредные вещества 1–4 класса опасности за исключением перечисленных ниже			≤ПДК _{мр}	1,1–3,0	3,1–10,0	10,1–15,0	15,1–20,0	>20,0
			≤ПДК _{сс}	1,1–3,0	3,1–10,0	10,1–15,0	>15,0	–
Особенно- сти дейст- вия на ор- ганизм	Вещества, опасные для разви- тия остро- го отрав- ления	остронаправ- ленные, ам- миак	≤ПДК _{мр}	1,1–2,0	2,1–4,0	4,1–6,0	6,1–10,0	>10,0
		раздражаю- щего дейст- вия	≤ПДК _{мр}	1,1–2,0	2,1–5,0	5,1–10,0	10,1–50,0	>50,0

1		2	3	4	5	6	7
	Канцерогены	≤ПДК _{сс}	1,1– 2,0	2,1– 4,0	4,1– 10,0	>10,0	–
	Аллергены	≤ПДК _{мр}	–	1,1– 3,0	3,1– 15,0	15,1– 20,0	>20,0
	Противоопухолевые лекарственные средства, гормоны (эстрогены)	–	–	–	–	Оценивается	–
	Наркотические анальгетики	–	–	Оценивается	–	–	–
Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны пылей, аэрозолей (превышение ПДК, раз)							
Содержание в воздухе рабочей зоны пылей, аэрозолей, мг/м ³		≤ПДК _{мр}	1,1– 2,0	2,1– 5,0	5,1– 10,0	>10,0	–
Классы условий труда в зависимости от уровней шума, локальной и общей вибрации на рабочем месте (превышение ПДУ до... (включительно))							
Шум. Уровни звука и звукового давления, эквивалентный уровень звука, дБ, дБА		≤ПДУ	5	15	25	35	>35
Вибрация локальная. Уровни виброскорости (виброускорения), эквивалентный скорректированный уровень виброскорости (виброускорения), дБ		≤ПДУ	3	6	9	12	>12
Вибрация общая. Уровни виброскорости (виброускорения), эквивалентный скорректированный уровень виброскорости (виброускорения), дБ		≤ПДУ	6	12	18	24	>24
Классы условий труда по показателям микроклимата (отклонения от допустимых норм)							
Температура воздуха, °С		Не превышает СанПиН 9-80 РБ 98	До 4	4,1– 8,0	> 8	–	–
Относительная влажность воздуха, %			До 25	> 25	–	–	–
Скорость движения воздуха, м/с			До 3 раз	> 3 раз	–	–	–
Классы условий труда в зависимости от параметров искусственного освещения							
Освещенность рабочей поверхности, лк		≥Е _н	<Е _н	–	–	–	–

1.4. Компенсации, предоставляемые работникам по результатам аттестации

По результатам аттестации с учетом оценки условий труда работникам предоставляются следующие виды компенсаций:

- пенсия по возрасту за работу с особыми условиями труда;
- дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;
- сокращенная продолжительность рабочего времени за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;
- оплата труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и (или) опасными условиями труда.

При оценке условий труда, соответствующих 3-му классу третьей степени вредности (3.3) и выше, подтверждаются особые условия труда на рабочих местах работников, профессии, должности, показатели работ которых предусмотрены списком производств, работ, профессий, должностей и показателей на подземных работах, на работах с особо вредными и особо тяжелыми условиями труда, занятость в которых дает право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда (далее – список № 1). Если условия труда на рабочих местах указанных работников соответствуют 3-му классу второй степени (3.2), то подтверждается их право на пенсию по списку производств, работ, профессий, должностей и показателей на работах с вредными и тяжелыми условиями труда, занятость в которых дает право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда (далее – список № 2).

При оценке условий труда, соответствующих 3-му классу второй степени вредности (3.2) и выше, подтверждаются особые условия труда на рабочих местах работников, профессии, должности, показатели работ которых предусмотрены списком № 2.

Продолжительность дополнительного отпуска за работу с вредными и (или) опасными условиями труда устанавливается в зависимости от класса (степени) вредности или опасности условий труда согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 19 января 2008 г. № 73 «О дополнительных отпусках за работу с вредными и (или) опасными условиями труда и особый характер работы» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 27, 5/26661).

При оценке условий труда, соответствующих 3-му, 4-му классам, на рабочих местах работников, профессии, должности которых предусмотрены списком производств, цехов, профессий и должностей с вредными и (или) опасными условиями труда, работа в которых дает право на сокращенную продолжительность рабочего времени, утвержденным постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 10 декабря 2007 г. № 170 «О сокращенной продолжительности рабочего времени за работу с вредными и (или) опасными условиями труда» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 31, 8/17910), подтверждается право на сокращенную продолжительность рабочего времени.

При оценке условий труда, соответствующих 3-му, 4-му классам, на рабочих местах работников в зависимости от класса и степени вредности условий труда устанавливаются доплаты за работу с вредными и (или) опасными условиями труда.

Доплаты за работу с вредными и (или) опасными условиями труда к тарифным ставкам и должностным окладам работников устанавливаются в процентах от тарифной ставки первого разряда, установленной в организации. В том случае, если в организации действует тарифная ставка первого разряда ниже тарифной ставки первого разряда, установленной Правительством, доплаты исчисляются от тарифной ставки первого разряда, установленной Правительством Республики Беларусь.

Наниматель не имеет права устанавливать размер доплат ниже минимально гарантированных.

Если в организации применяется несколько тарифных ставок первого разряда, доплата исчисляется исходя из тарифной ставки первого разряда, принятой для начисления заработной платы работнику.

Работникам, которым установлена повышенная оплата труда за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, доплата за работу с этими условиями по результатам аттестации не устанавливается.

При суммированном учете рабочего времени фактически отработанное время с вредными и (или) опасными условиями труда определяется делением сумм фактически отработанных часов с вредными и (или) опасными условиями труда на 8 часов.

В табл. П2.2. представлены компенсации, предоставляемые работникам по результатам аттестации.

Компенсации, предоставляемые работникам по результатам аттестации

Виды компенсаций		Классы условий труда					
		допус- тимый	вредный				опас- ный
		2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Пенсия по воз- расту за работу с особыми усло- виями труда	Список № 1	–	–	–	+	+	+
	Список № 2	–	–	+	+	+	+
Продолжительность дополни- тельного отпуска за работу с вредными и (или) опасными условиями труда (в календар- ных днях)		0	4	7	14	21	28
Норма продолжительности ра- бочей недели (в часах)		–	35	35	35	35	35
Доплата в процентах от та- рифной ставки первого разря- да за 1 час работы		–	0,10	0,14	0,20	0,25	0,31

2. Порядок выполнения работы

1. Изучить требования нормативных документов и данные общие положения.

2. Провести оценку условий труда на основе данных, приведенных в характеристике условий труда, по заданному варианту (табл. П2.4). Заполнить выдержки из карты аттестации рабочего места по условиям труда (табл. П2.3, П2.5). Для этого необходимо:

– по своему варианту (табл. П2.4) записать фактические значения величин факторов производственной среды в табл. П2.3;

– установить класс (степень) условий труда (табл. П2.1) путем сопоставления фактических значений факторов согласно варианта с нормативными (регламентированными): ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны взять из табл. 7.2 лабораторной работы № 7; ПДК пыли в воздухе рабочей зоны – из табл. 6.1 лабораторной работы № 6; ПДУ шума и вибрации – из табл. 8.2, 8.3 и 8.5 лабораторной работы № 8; допустимые параметры микроклимата – из табл. 12.2 лабораторной работы № 12; нормативную освещенность – из табл. 2.1 лабораторной работы № 2;

– установить класс (степень) условий труда с учетом времени воздействия фактора (табл. П2.3);

– дать общую оценку условий труда на рабочем месте (табл. П2.5).

3. По результатам выдержки из карты аттестации рабочего места по условиям труда установить размеры доплат за работу с вредными и (или) опасными условиями труда согласно табл. П2.2.

4. Предложить мероприятия по улучшению условий труда на производстве.

Таблица П2.3

**Результаты оценки факторов производственной среды
(выдержка из карты аттестации рабочего места по условиям труда)**

Факторы и показатели производственной среды	Гигиенические нормативы (ПДК, ПДУ)	Фактические величины	Класс (степень) условий труда	Время воздействия фактора	Класс (степень) условий труда с учетом времени воздействия фактора
1. Химический фактор, мг/м ³ : аммиак					
бензин топливный					
сероводород					
оксид углерода					
Итоговая оценка фактора					
2. Пыли, аэрозоли, мг/м ³ : зерновая					
цементная					
древесная					
поликарбонатная					
Итоговая оценка фактора					
3. Шум, дБА					
4. Вибрация общая, дБ					
5. Вибрация локальная, дБ					
6. Микроклимат: температура, °С					
скорость движения воздуха м/с					
относительная влажность воздуха, %					
Итоговая оценка фактора					
7. Освещенность					

Таблица П2.4

Характеристика условий труда

Факторы условий труда	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ :												
аммиак	28	–	50	80	60	–	16	40	10	18	50	28
бензин топливный	–	250	–	–	–	120	–	–	–	–	–	–
сероводород	16	–	18	25	–	–	18	20	5	10	18	16
оксид углерода	–	40	38	18	31	30	–	35	45	–	38	–
Продолжительность действия, % рабочей смены	40	55	40	50	50	50	55	40	60	50	10	20
2. Содержание пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ :												
зерновая	27	–	20	50	–	–	10	4	26	–	9	11
цементная	–	33	–	–	20	10	–	–	–	35	–	–
древесная	11	–	–	10	–	–	18	14	12	–	14	–
поликарбонатная	–	12	–	–	8	9	–	–	–	17	–	6
Продолжительность действия, % рабочей смены	50	15	40	50	10	20	35	40	60	50	10	50
3. Уровень звука на постоянном рабочем месте в производственном помещении, дБА	80	85	78	85	90	75	83	91	86	79	81	80
Продолжительность действия, % рабочей смены	15	11	25	30	20	10	25	35	16	30	35	25
4. Общая вибрация транспортно-технологическая:												
виброскорость, дБ	110	115	112	108	109	115	116	110	112	115	118	109
среднегеометрическая полоса частот, Гц	16	31,5	63	16	31,5	63	16	31,5	63	16	31,5	63

Факторы условий труда	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Продолжительность действия, % рабочей смены	40	35	40	20	30	10	25	40	50	50	10	60
5. Локальная вибрация: виброскорость, дБ	116	110	108	111	110	107	109	110	111	109	112	107
среднегеометрическая частота полосы, Гц	8	16	31,5	63	125	8	16	31,5	63	125	63	125
Продолжительность действия, % рабочей смены	40	35	40	20	30	10	25	40	50	50	10	60
6. Микроклимат в производственном помещении (категория работ по тяжести Па, холодный период года): температура, °С	20	24	16	18	15	22	16	18	20	24	18	22
скорость движения воздуха, м/с	0,5	0,1	0,8	1,0	0,1	0,4	0,5	0,9	1,5	0,1	1,0	0,4
относительная влажность воздуха, %	89	70	65	75	100	60	65	55	70	70	75	60
Продолжительность действия, % рабочей смены	45	21	25	30	40	10	15	35	36	30	25	15
7. Освещенность (искусственная), лк	50	80	30	150	180	80	200	80	75	80	150	80
Разряд зрительной работы	V	IV	IV	V	V	IV	V	IV	IV	V	IV	V
Характеристика фона	свет- лый	тем- ный	сред- ний	сред- ний	тем- ный	свет- лый	тем- ный	свет- лый	сред- ний	тем- ный	тем- ный	сред- ний
Контраст объекта с фоном	ма- лый	сред- ний	ма- лый	боль- шой	ма- лый	боль- шой	ма- лый	сред- ний	ма- лый	боль- шой	сред- ний	ма- лый
Продолжительность действия, % рабочей смены	30	21	34	12	15	18	19	21	16	25	14	11

**Показатели оценки условий труда на рабочем месте
(выдержка из карты аттестации рабочего места по условиям труда)**

Фактор	Класс условий труда						
	опти- мальный	допус- тимый	вредный				опас- ный
	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Химический							
Пыли, аэрозоли							
Шум							
Вибрация общая							
Вибрация локальная							
Микроклимат							
Освещение							
Общая оценка условий труда							

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие нормативные документы определяет порядок аттестации рабочих мест по условиям труда?
2. Кто несет ответственность за своевременное и качественное проведение аттестации рабочих мест по условиям труда на предприятии (в организации)?
3. Кто входит в состав аттестационной комиссии предприятия (организации)?
4. Опишите порядок работ по аттестации рабочих мест по условиям труда.
5. Каков порядок оформления результатов аттестации рабочих мест по условиям труда?
6. Приведите размеры компенсаций, предоставляемые по результатам аттестации рабочих мест по условиям труда?

ЛИТЕРАТУРА

1. Конституция Республики Беларусь 1994 года (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 ноября 1996 г. и 17 октября 2004 г.). – Минск: Амалфея, 2005. – 48 с.

2. Трудовой кодекс Республики Беларусь с обзором изменений, внесенных законами Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 273-З, 6 января 2009 г. № 6-З: принят Палатой представителей 8 июня 1999 г.: одобр. Советом Респ. 30 июня 1999 г.: текст Кодекса по состоянию на 6 июня 2009 г. / авт. обзора К. И. Кеник. – Минск: Амалфея, 2009. – 288 с.

3. Пособие по аттестации рабочих мест по условиям труда с учетом требований Трудового кодекса Республики Беларусь // Библиотека журнала «Ахова працы»; гл. ред. В. Крылов. – 2008. – № 4 (101). – 160 с.

Практическая работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПО ТРАВМАТИЗМУ И ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ, РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ И ОХРАНЕ ТРУДА

Цель работы: изучить методику определения потерь от травматизма и профзаболеваемости, экономической эффективности мероприятий по улучшению условий и охране труда.

1. Общие положения

Временные потери трудоспособности, вызванные производственным травматизмом, профессиональными заболеваниями и несовершенством условий труда, причиняют организациям значительный материальный ущерб. От величины этого ущерба зависят производственные показатели предприятия. Кроме того, выявление экономических последствий нетрудоспособности необходимо для установления связей или закономерностей между различными причинами травматизма и профзаболеваний. Поэтому каждый специалист должен уметь определять потери от травматизма и заболеваемости и эффективность проведения мероприятий по улучшению условий и охране труда.

1.1. Расчет суммарных экономических потерь предприятия, связанных с травматизмом и заболеваемостью

Для определения влияния на травматизм и заболеваемость выделяемых на охрану труда денежных средств и материальных ресурсов используется экономический метод.

Потери рабочего времени на производстве связаны не только с травматизмом, но и с заболеваемостью рабочих и служащих из-за неудовлетворительных условий труда (отклонение параметров микроклимата от допустимых значений, высокая концентрация вредных веществ, нерациональная освещенность, высокий уровень шума и вибрации и др.). Поэтому при экономическом анализе следует изучать и учитывать как причины травматизма, так и заболеваемости.

Суммарные экономические потери предприятия $P_э$, связанные с производственным травматизмом и заболеваемостью, определяются по формуле

$$P_э = \sum P_T + \sum P_з, \quad (ПЗ.1)$$

где $\sum P_T$ – сумма потерь, связанных с производственными травмами, руб.; $\sum P_з$ – сумма потерь, связанных с заболеваемостью из-за неудовлетворительных условий труда, руб.

Для определения величины экономических потерь от производственного травматизма и заболеваемости используют данные листов временной нетрудоспособности, материалы экспертной оценки стоимости испорченного оборудования и инструмента, медицинского заключения реабилитационной комиссии, расчеты бухгалтерии предприятия и другие материалы.

Сумма потерь $\sum P_T$, связанных с травмами, складывается из множества составляющих:

$$\sum P_T = C_a + C_k + C_{зп} + C_n + C_б + C_p + C_o + C_{вп}, \quad (ПЗ.2)$$

где C_a – стоимость амбулаторного лечения, руб.; C_k – стоимость клинического лечения, руб.; $C_{зп}$ – сумма недопроизведенной заработной платы за период лечения, руб.; C_n – убытки из-за недополученной суммы налогов с необлагаемой части дохода (выплат по больничному листку), руб.; $C_б$ – сумма выплат по больничному листку, руб.; C_p – стоимость расследования несчастного случая, руб.; C_o – стоимость испорченного оборудования или затраты на его ремонт, руб.; $C_{вп}$ – стоимость валовой продукции, недополученной хозяйством вследствие травмы или заболевания, руб.

Стоимость амбулаторного C_a и клинического C_k лечения определяют соответственно из выражений

$$C_a = c_{ам} \cdot D_{ам}, \quad (ПЗ.3)$$

$$C_k = c_{кл} \cdot D_{кл}, \quad (ПЗ.4)$$

где $c_{ам}$ и $c_{кл}$ – соответственно стоимость одного посещения лечебного заведения и одного койко-места в сутки в больнице, руб.; $D_{ам}$ – число посещений поликлиники, раз; $D_{кл}$ – продолжительность лечения на стационаре, дней.

Сумму недопроизведенной заработной платы $C_{зп}$ определяют исходя из среднего дневного заработка $c_з$:

$$C_{зп} = c_з \cdot D_T, \quad (ПЗ.5)$$

где D_t – число дней нетрудоспособности вследствие травм.

Убытки от недополучения налога C_n определяют по формуле

$$C_n = \frac{C_{3п}}{100} \cdot (A + B), \quad (ПЗ.6)$$

где A – процент отчисления соцстраху (34%); B – обязательные страховые взносы от несчастных случаев (бюджет – 0,04%, внебюджет – 0,54%).

Сумма выплат по больничному листку C_6 составляет:

$$C_6 = c_6 \cdot D_t, \quad (ПЗ.7)$$

где c_6 – стоимость одного дня по больничному листку, руб.

Стоимость расследования несчастных случаев C_p складывается из суммарного дневного заработка c_d лиц, участвующих в расследовании (инженер по охране труда, технический инспектор, общественный инспектор и др.), умноженного на число дней расследования D_p :

$$C_p = c_d \cdot D_p. \quad (ПЗ.8)$$

Стоимость восстановления испорченного оборудования, зданий, инструмента принимают по данным бухгалтерии.

Стоимость валовой продукции $C_{вп}$, недополученной из-за травмы,

$$C_{вп} = \frac{C_v \cdot D_t}{n \cdot D}, \quad (ПЗ.9)$$

где C_v – стоимость валовой продукции, произведенной в хозяйстве за год, руб.; n – среднесписочное число работающих в течение года; D – число рабочих дней (смен) в году.

Потери от заболеваний $\sum P_3$, являющихся следствием неудовлетворительных условий труда, определяются суммой следующих слагаемых:

$$\sum P_3 = C_{3п}^* + C_{вп}^* + C_6^* + C_n^*, \quad (ПЗ.10)$$

где $C_{3п}^*$ – сумма недопроизведенной заработной платы за период заболевания, руб.; $C_{вп}^*$ – стоимость валовой продукции, недополученной хозяйством вследствие заболевания, руб.; C_6^* – сумма выплат по больничному листку, руб.; C_n^* – убытки из-за недополученной суммы налогов с необлагаемой части дохода (выплат по больничному листку), руб.

Сумму недопроизведенной заработной платы $C_{зп}^*$ определяют исходя из среднего дневного заработка c_3 :

$$C_{зп}^* = c_3 \cdot D_3, \quad (\text{ПЗ.11})$$

где D_3 – число дней нетрудоспособности вследствие заболевания.

Стоимость валовой продукции $C_{вп}^*$, недополученной из-за заболевания:

$$C_{вп}^* = \frac{C_{в} \cdot D_3}{n \cdot D}. \quad (\text{ПЗ.12})$$

Сумма выплат по больничному листку C_6^* составляет:

$$C_6^* = c_6 \cdot D_3. \quad (\text{ПЗ.13})$$

Убытки от недополучения налога на заработную плату

$$C_n^* = \frac{C_{зп}^*}{100} \cdot (A + B). \quad (\text{ПЗ.14})$$

В реальных условиях общие потери предприятия могут включать не все виды указанных затрат, а могут включать и другие, не указанные в приведенной методике, расходы.

Ежегодно предприятия отчитываются перед вышестоящими органами управления, государственной инспекцией труда и государственными органами специализированного надзора и контроля о последствиях несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваниях по установленной форме (приложение).

Часть показателей, определенных ранее, возмещается за счет средств предприятия (C_p , C_6 , $C_{вп}$). Другая часть показателей возмещается из общегосударственных средств, которые формируются из налогов на заработную плату. В отдельных случаях затраты на амбулаторное C_a и клиническое C_k лечение могут быть отнесены непосредственно на предприятие, если травма или профзаболевание произошло по вине предприятия.

1.2. Определение общей экономии от проведения мероприятий по охране труда

К мероприятиям по улучшению условий и охране труда относятся все виды хозяйственной деятельности, направленные на предупреждение, ликвидацию или снижение отрицательного воздействия вредных и опасных производственных факторов на работников.

Расчет экономической эффективности мероприятий по улучшению условий и охране труда необходим:

а) для экономического обоснования планируемых мероприятий, в том числе выбора оптимального варианта проектных решений;

б) для определения фактической эффективности осуществленных мероприятий;

в) для оценки результатов деятельности производственных объединений (предприятий), министерств и ведомств по улучшению условий и охране труда;

г) для расчета нормативов необходимых затрат на приведение условий труда на рабочих местах в соответствие с требованиями ТНПА.

Общая экономия от внедрения мероприятий по охране труда \mathcal{E}_r определяется по зависимости

$$\mathcal{E}_r = \Pi_9 - \Pi_{9п} - \mathcal{Z}_m, \quad (\text{ПЗ.15})$$

где Π_9 и $\Pi_{9п}$ – потери хозяйства от травматизма, заболеваний до и после внедрения мероприятий по охране труда, руб; \mathcal{Z}_m – затраты на мероприятия по улучшению условий и охране труда, руб.

Потери из-за травм и заболеваемости в базисном году Π_9 необходимо взять из предыдущего расчета.

Потери из-за травм и заболеваемости после внедрения мероприятий по охране труда $\Pi_{9п}$ определяют по зависимости

$$\Pi_{9п} = \frac{100 - K}{100} \cdot \Pi_9. \quad (\text{ПЗ.16})$$

где K – коэффициент эффективности технологии и санитарно-гигиенических мероприятий по охране труда.

Показатель эффективности затрат K_9 характеризует денежную отдачу с каждого рубля, вложенного в мероприятия по улучшению условий и охраны труда, и определяется следующим образом:

$$K_9 = \frac{\Pi_9 - \Pi_{9п}}{\mathcal{Z}_m}. \quad (\text{ПЗ.17})$$

Окупаемость единовременных затрат t (в годах) определяется по формуле

$$t = \frac{\mathcal{Z}_m}{\Pi_9 - \Pi_{9п}}. \quad (\text{ПЗ.18})$$

Если полученный срок окупаемости t меньше нормативного ($t_n = 12,5$ лет), то мероприятия считаются экономически эффективными.

На основании проведенных расчетов необходимо сделать заключение о целесообразности проведения мероприятий по улучшению условий и охраны труда.

Кроме приведенной, существуют другие методики определения социальной и экономической эффективности осуществления мероприятий по улучшению условий и охраны труда.

2. Порядок выполнения работы

1. Изучить методику определения потерь от травматизма и заболеваемости.

2. Изучить методику определения экономии денежных средств от внедрения мероприятий по охране труда.

3. Определить суммарные потери денежных средств, связанные с травматизмом и заболеваемостью, согласно варианту, заданному преподавателем (табл. ПЗ.1) и заполнить приложение. Стоимость амбулаторного $C_{ам}$ и клинического $C_{кл}$ лечения следует определять один раз, т. е. при определении потерь от травматизма $\sum P_t$ или потерь от заболеваемости $\sum P_z$. Остальные составляющие потерь необходимо определять отдельно для травматизма и отдельно для заболеваемости.

4. Определить общую экономию денежных средств от проведения мероприятий по охране труда согласно варианту, заданному преподавателем (табл. ПЗ.2), дать заключение о целесообразности проведения мероприятий по охране труда.

Приложение

СВЕДЕНИЯ

о последствиях несчастного случая на производстве, профессионального заболевания (отравления)¹

фамилия, имя, отчество потерпевшего, профессия (должность)

наименование нанимателя

дата несчастного случая (выявления профзаболевания (отравления))

¹ Сведения о последствиях несчастного случая со смертельным, тяжелым исходом, профессионального заболевания (отравления) наниматель в срок до 15 января после отчетного года направляет: государственному инспектору труда; профсоюзу (уполномоченному трудового коллектива); представителю органа государственного специализированного надзора и контроля, если такой несчастный случай произошел на подконтрольном ему предприятии (объекте); вышестоящему органу управления (по его требованию); центру гигиены и эпидемиологии (по профессиональным заболеваниям (отравлениям)).

дата утверждения акта формы Н-1 (ПЗ-1), его номер

1. Потерпевший выздоровел, переведен на более легкую работу, установлена потеря профессиональной трудоспособности, инвалидность 3-, 2-, 1-й группы, умер _____

нужное подчеркнуть, указать процент
утраты профессиональной трудоспособности

2. Продолжительность временной нетрудоспособности _____

(количество рабочих дней)

3. Продолжительность выполнения более легкой работы _____

(количество рабочих дней)

4. Диагноз заболевания по листку нетрудоспособности или справке лечебного учреждения, заключение о причинах смерти потерпевшего

5. Затраты нанимателя в связи с несчастным случаем, профессиональным заболеванием (отравлением):

5.1. Расходы, связанные с доставкой потерпевшего в лечебно-профилактическое учреждение или к месту жительства _____
(рублей)

5.2. Расходы на лечение, диагностику и медицинскую реабилитацию потерпевшего _____
(рублей)

5.3. Выплачено по листку нетрудоспособности _____
(рублей)

5.4. Сумма доплат до прежнего заработка при переводе на другую (более легкую) работу _____
(рублей)

5.5. Затраты предприятия на профессиональную подготовку и переподготовку работника, принимаемого на работу взамен выбывшего в связи с травмой либо профессиональным заболеванием

(рублей)

5.6. Затраты на обучение потерпевшего новой профессии в соответствии с заключением лечебно-профилактического учреждения или МРЭК

(рублей)

5.7. Выплаты денежных средств в счет возмещения утраченного заработка потерпевшему (иждивенцам) _____
(рублей)

5.8. Суммы компенсации дополнительных расходов, вызванных повреждением здоровья (усиленное питание, покупка лекарств, санаторно-курортное лечение, протезирование, обеспечение специальным транспортом, погребение погибшего и др.) _____

(рублей)

5.9. Выплачиваемые пенсии потерпевшему, иждивенцам погибшего в связи с потерей кормильца _____

(рублей)

5.10. Сумма выплаченного морального вреда потерпевшему (иждивенцам) _____

(рублей)

5.11. Выплата потерпевшему, (иждивенцам) единовременной компенсации в соответствии с коллективным договором _____

(рублей)

5.12. Затраты, связанные с расследованием несчастного случая, профессионального заболевания (отравления) (экспертизы, технические расчеты, лабораторные исследования и испытания, фотографирование и т. п.)² _____

(рублей)

5.13. Стоимость испорченного сырья, полуфабрикатов, готовой продукции, разрушенных зданий и сооружений, оборудования, оснастки, инструмента, транспортных средств и т. п.² _____

(рублей)

5.14. Суммы штрафов, выплаченных нанимателем за нарушения законодательства о труде и правил по охране труда, которые привели к несчастному случаю на производстве, профессиональному заболеванию (отравлению)² _____

(рублей)

5.15. Другие расходы _____

(рублей)

5.16. Суммарные затраты _____

(рублей)

Представитель нанимателя _____

(подпись, расшифровка подписи)

М.П.

Бухгалтер нанимателя _____

(подпись, расшифровка подписи)

дата

² При групповом несчастном случае затраты по п. 5.12–5.14 делятся на количество потерпевших.

Таблица ПЗ.1

Данные для определения экономических потерь, связанных с производственным травматизмом и заболеваемостью

Факторы	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Среднесписочное число работающих в течение года n , чел.	283	312	410	271	365	454	318	513	321	256	426	251
2. Число рабочих дней (смен) в году D	280	228	280	228	280	228	280	228	280	228	280	228
3. Число дней нетрудоспособности вследствие заболеваемости D_3	1181	1215	2110	983	1130	2854	1130	915	1010	574	1516	817
4. Число дней нетрудоспособности вследствие травм D_T	67	28	115	91	87	211	212	121	117	89	173	71
5. Стоимость всей валовой продукции, произведенной в хозяйстве за год, C_v , млн. руб.	40,5	51,3	62,3	37,1	48,4	51,4	42,3	67,5	47,3	39,1	68,1	28,2
6. Число дней расследования D_p	3	3	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2
7. Суммарный дневной заработок лиц, участвующих в расследовании, c_d , тыс. руб.	4,7	6,3	4,8	4,7	4,7	4,8	5,1	6,3	4,0	5,1	5,4	6,3
8. Стоимость одного дня по больничному листку c_b , руб.	1450	1511	1612	1312	1487	1615	1312	1517	1810	1527	1458	1656
9. Средний дневной заработок c_3 , руб.	1587	1417	1712	1516	1692	1556	1612	1543	1656	1456	1417	1587
10. Суммарная продолжительность лечения $D_{кл}$, дн.	511	610	612	510	715	1100	500	415	618	312	810	318
11. Стоимость одного койко-места в больнице $c_{кл}$, руб.	1163	1450	1211	1150	1350	1150	1150	1160	1170	1178	1215	1155
12. Количество посещений лечебного заведения $D_{ам}$, дн.	87	93	54	88	73	78	84	115	117	43	87	63
13. Стоимость одного посещения лечебного заведения $c_{ам}$, руб.	250	245	264	255	260	275	260	270	250	290	240	280
14. Стоимость испорченного оборудования или затраты на его ремонт C_o , млн. руб.	15,7	6,2	–	54,3	10,7	11,7	–	13,4	–	87,4	53,4	–

**Значения коэффициента эффективности мероприятий
по охране труда и затрат на них по вариантам**

Вариант	Мероприятия	Коэффициент эффективности мероприятий K , %	Затраты на мероприятия Z_m , тыс. руб.
1, 6	Внедрение физиологически обоснованного режима труда и отдыха	15–25	5 300
2, 7	Упорядочение режима труда с учетом психофизиологических особенностей человека	5–10	9 200
3, 8	Рационализация рабочих мест на основании физиологических данных	10–12	11 100
4, 9	Правильная планировка и окраска помещений и оборудования	10–14	12 500
5, 10	Выбор рационального освещения	10–15	14 500
11	Снижение шума до требуемых нормативов	4–10	15 400
12	Снижение высокой температуры	10–18	12 100

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как рассчитываются суммарные экономические потери предприятия (хозяйства), связанные с травматизмом?
2. Как рассчитываются суммарные экономические потери предприятия (хозяйства), связанные с заболеваемостью?
3. Каким образом определяются экономические потери из-за травм и заболеваемости после внедрения мероприятий по охране труда?
4. Что относится к мероприятиям по улучшению условий и охраны труда?
5. Как определить общую экономию от проведения мероприятий по охране труда?
6. Назовите основные составляющие экономических потерь от травматизма и заболеваемости.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Лабораторная работа № 1. Исследование эффективности теплопоглощающих защитных экранов	4
Лабораторная работа № 2. Нормирование и оценка эффективности естественного и искусственного освещения в производственном помещении	16
Лабораторная работа № 3. Исследование характеристик искусственного освещения.....	39
Лабораторная работа № 4. Определение температуры вспышки паров огнеопасных жидкостей и категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности	51
Лабораторная работа № 5. Исследование работы вентиляционных установок, оценка эффективности циклона для очистки воздуха от пыли	84
Лабораторная работа № 6. Исследование запыленности воздуха на рабочих местах, дисперсности пыли и морфологии частиц.....	103
Лабораторная работа № 7. Определение и нормирование вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений.....	120
Лабораторная работа № 8. Исследование и нормирование уровней шума и вибрации на рабочих местах	145
Лабораторная работа № 9. Контроль сопротивления изоляции токоведущих частей и заземляющего устройства.....	176
Лабораторная работа № 10. Исследование опасности поражения током в трехфазных электрических сетях напряжением до 1 кВ	194
Лабораторная работа № 11. Исследование процесса образования и накопления зарядов статического электричества	218

Лабораторная работа № 12 Исследование метеорологических условий на производстве	226
Лабораторная работа № 13. Определение величины тушащего зазора и категории взрывоопасной смеси	242
Практическая работа № 1. Обучение, инструктаж и проверка знаний работников по охране труда	267
Практическая работа № 2. Аттестация рабочих мест и определение размеров доплат за условия труда.....	286
Практическая работа № 3. Определение экономических потерь по травматизму и заболеваемости, расчет эффективности мероприятий по улучшению условий и охране труда	304

Учебное издание

Гармаза Андрей Константинович
Босак Виктор Николаевич
Ермак Иван Тимофеевич и др.

ОХРАНА ТРУДА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Пособие

Редактор *Т. Е. Самсанович*
Компьютерная верстка *Д. А. Столбунов*
Корректор *Т. Е. Самсанович*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.

ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.